



**TUGAS AKHIR - TF 141581**

**ANALISA PEMBENTUKAN SLAGGING DAN  
FOULING PEMBAKARAN BATUBARA PADA  
BOILER B 0201B PABRIK 3 UNIT UBB DI  
PT. Petrokimia Gresik**

**WINDHA AYU PRAMESWARI**  
**NRP. 2414 106 005**

**Dosen Pembimbing**  
**Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T.**  
**Nur Laila Hamidah S.T, MSc.**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA**  
**Fakultas Teknologi Industri**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya**  
**2017**



**FINAL PROJECT - TF 141581**

**SLAGGING AND FOULING FORMATION  
ANALYSIS OF COAL BURNING AT BOILER B  
0201B 3 UNIT UBB FACTORY**

**PT. Petrokimia Gresik**

**WINDHA AYU PRAMESWARI  
NRP. 2414 106 005**

**Supervisor  
Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T.  
Nur Laila Hamidah S.T, MSc.**

**DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2017**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISA PEMBENTUKAN *SLAGGING* DAN  
*FOULING* PEMBAKARAN BATUBARA PADA  
BOILER B 0201B PABRIK 3 UNIT UBB DI PT.  
PETROKIMIA GRESIK**

**TUGAS AKHIR**

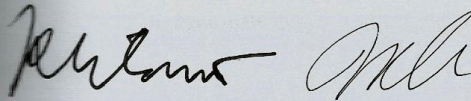
**Oleh :**

**Windha Ayu Pramesari**

**NRP : 2414.106.005**

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**



**Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.**  
**NIP. 19761223 200501 1 001**

**Nur Laila Hamidah S.T., MSc.**  
**NIP. 19880710 201504 2 001**

**Ketua Departemen  
Teknik Fisika FTI-ITS**



**Agus Muhammad Hatta, ST, Msi, Ph.D**  
**NIP. 19780902 200312 1 002**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

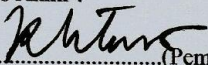


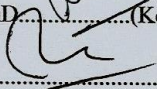
**ANALISA PEMBENTUKAN *SLAGGING* DAN  
FOULING PEMBAKARAN BATUBARA PADA  
BOILER B 0201B PABRIK 3 UNIT UBB DI PT.  
PETROKIMIA GRESIK  
TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi S-1 Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Windha Ayu Prameswari**  
**NRP: 2414 106 005**

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T..... (Pembimbing)
2. Nur Laila Hamidah S.T, MSc..... (Pembimbing)
3. Gunawan Nugroho, S.T, M.T, P.hD..... (Ketua Penguji)
4. Ir. Harsono Hadi, M.T, P.hD ..... (Penguji I)

**SURABAYA  
JANUARI , 2017**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

# **ANALISA PEMBENTUKAN *SLAGGING* DAN *FOULING* PEMBAKARAN BATUBARA PADA *BOILER* B 0201B PABRIK 3 UNIT UBB DI PT. PETROKIMIA GRESIK**

**Nama Mahasiswa** : Windha Ayu Pramesari  
**NRP** : 2414 106 005  
**Jurusan** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T.  
Nur Laila Hamidah S.T, MSc.

## **Abstrak**

PT. Petrokimia Gresik memiliki standar batubara yang sangat diperhatikan kualitasnya, karena pada batubara yang memiliki kualitas baik akan menghasilkan kalor yang tinggi serta *ash* yang rendah. Kumpulan *ash* yang mengendap dalam *boiler* akan membentuk *slagging* dan *fouling*. *Slagging* dan *fouling* ini akan berpengaruh pada perpindahan panas yang terjadi pada proses di *boiler* dan juga performansi dari *boiler*. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan didapatkan nilai index dari *slagging* dan index *fouling* sebesar 0,19 dan 0,66. Dari hasil tersebut index *slagging* dan index *fouling* masuk dalam kategori sedang. Ini dibuktikan dengan hasil stokiometri pembakaran batubara dan mendapatkan volume dan berat dari *slagging* sebesar  $253\text{ m}^3$  setara dengan 217,58 ton atau 2,90% dari total batubara yang dibakar dan *fouling* sebesar  $118,92\text{ m}^3$  setara dengan 102,27 ton atau 1,36% dari total batubara yang dibakar. Dari hasil analisa efisiensi *boiler* B 0201B didapatkan rata-rata performansi atau efisiensi dari *boiler* ini pada bulan Juli 2016 sebesar 57,294%. Efisiensi pada boiler akan sangat dipengaruhi oleh terbentuknya *slagging* dan juga *fouling*, dengan tingginya *slagging* dan *fouling* yang terjadi atau terbentuk pada dinding serta permukaan *boiler* akan mempengaruhi perpindahan panas yang terjadi sehingga akan berpengaruh juga terhadap jumlah bahan bakar batubara yang digunakan.

**Kata kunci:** *Boiler, batubara, slagging, fouling, efisiensi boiler.*

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



**SLAGGING AND FOULING FORMATION  
ANALYSIS OF COAL BURNING AT BOILER  
B 0201B 3 UNIT UBB FACTORY**

**PT. Petrokimia Gresik**

**Name of Student** : Windha Ayu Prameswari  
**NRP** : 2414 106 005  
**Department** : Engineering Physics FTI-ITS  
**Supervisor** : Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T.  
Nur Laila Hamidah S.T, MSc.

***Abstract***

*Standard of coal quality in PT Petrokimia Gresik is very considered, to make sure that the coal will generate high heat and low ash. Collection of ash buildup in the boiler will form slagging and fouling. Slagging and fouling will affect heat transfer that occurs in the process of the boiler and also the performance of the boiler. Based on research that has been done obtained an index value of slagging and fouling index of 0.19 and 0.66. From the results of the index slagging and fouling index into the category of being. This is evidenced by the results of the stoichiometric combustion of coal. It gets the volume and weight of slagging 253 m<sup>3</sup> equivalent to 217,58 tons, or 2.90% of total coal burned. The volume and weight of fouling 118,92 m<sup>3</sup> equivalent to 102,27 tons or 1.36% of total coal burned. From the analysis of the boiler B 0201B efficiency, obtained an average performance or efficiency of the boiler is amounted to 57.294% in July 2016. The efficiency of the boiler will be strongly influenced by the formation of slagging and fouling, with a high slagging and fouling occurring or formed on the surface of the wall and the boiler will affect heat transfer occurs so that it will also affect the amount of fuel coal used.*

**Key Words** :Boiler, coal, efficiency, fouling, slagging.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis kepada Allah SWT, karena rahmat dan hikmat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir ini. Tidak lupa juga penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada keluarga dan para sahabat. Oleh karena dukungan mereka, penulis mampu menyusun laporan tugas akhir yang berjudul:

### **“ANALISA PEMBENTUKAN *SLAGGING* DAN *FOULING* PEMBAKARAN BATUBARA PADA *BOILER* B 0201B PABRIK 3 UNIT UBB DI PT. PETROKIMIA GRESIK”**

Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik yang harus dipenuhi dalam Program Studi S-1 Teknik Fisika FTI-ITS. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T. selaku dosen pembimbing pertama tugas akhir ini, yang selalu memberikan semangat, nasehat dan juga motivasi.
2. Ibu Nur Laila Hamidah S.T, MSc. selaku dosen pembimbing kedua tugas akhir ini, yang selalu memberikan semangat, nasehat dan juga motivasi.
3. Agus Muhammad Hatta, ST, Msi, Ph.D selaku ketua jurusan Teknik Fisika ITS
4. Bapak Dr. Gunawan Nugroho, S.T, P.hD selaku kepala laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan Teknik Fisika-ITS.
5. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku dosen wali penulis.
6. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di jurusan Teknik Fisika - ITS.
7. Bapak Emil Martin Tambunan S.T selaku pembimbing di perusahaan PT. Petrokimia Gresik, yang telah memberikan ilmu, dan bantuan untuk mendapatkan data yang dibutuhkan untuk menyusun tugas akhir ini.

8. Om Antonius Sihotang yang telah membantu penulis bisa mengambil data serta tugas akhir di PT. Petrokimia Gresik
9. Bapak Lutfi, bapak Ganes, bapak Aris, bapak Cahyono, bapak Mahendra, dan Eko Pujo yang dimana sangat membantu penulis pada saat pengambilan data dilapangan.
10. Segenap keluarga penulis yang telah memberikan dukungan penuh terhadap penyelesaian tugas akhir ini.
11. Rekan-rekan F46, teman teman Lintas Jalur Genap 2014 dan warga Teknik Fisika - ITS, yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatian.
12. Om wishnu, Adhim, Khamim, Nadhifa, Wilujeng, Dhea, Erik, Damay, Rio, Hariz, Erik, Berlian, Erwin, Bayu, Reza, Ifa, Witcjak, Riyan, Clara, kak Febri, Ce Dhea, Febby, Via, Kak Putri, Alfi, Fenny , yang sangat membantu dalam memberikan motivasi, semangat, serta doa untuk penulis dalam menyusun Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa mungkin masih ada kekurangan dalam laporan ini, sehingga kritik dan saran penulis terima. Semoga laporan ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis dan pihak yang membacanya.

Surabaya, Januari 2017

Penulis.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
<b>BAB II TEORI PENUNJANG</b>	
2.1 Boiler	5
2.1.1 Jenis <i>Boiler</i>	6
2.2 Batubara	12
2.2.1 Jenis batubara	13
2.2.2 Kualitas batubara	15
2.2.3 Analisi batubara	18
2.2.4 Pembakaran batubara	19
2.2.5 Sistem pembakaran batubara didalam Boiler	20
2.3 <i>Slagging dan Fouling</i>	22
2.3.1 <i>Slagging</i>	23
2.3.2 <i>Fouling</i>	23
2.4 <i>Boiler B 0201B pada PT. Petrokimia Gresik</i>	28
2.4.1 Komponen utama pada <i>Boiler</i>	29
2.4.2 Prinsip kerja <i>boiler</i>	30
2.4.2 Efisiensi <i>boiler</i>	32
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Tahap Penelitian	35
3.2 Identifikasi Spesifikasi <i>Boiler B 0201B</i>	37
3.3 Diagram Blok Sistem pada <i>Boiler B 0201B</i>	38

3.4	Index <i>Slagging</i> dan <i>Fouling</i>	40
3.4.1	Index <i>Slagging</i>	40
3.4.1	Index <i>Fouling</i>	41
3.5	Efisiensi Boiler	41
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Index <i>Slagging</i> dan <i>Fouling</i> Batubara	43
4.2	Stokiometri Pembakaran batubara	49
4.3	Efisiensi Boiler	50
4.4	Pengaruh index <i>slagging</i> dan index <i>fouling</i> pada efisiensi <i>boiler</i>	52
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran	56
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Skematik <i>Boiler</i>	6
Gambar 2.2	<i>Fired Tube Boiler</i>	7
Gambar 2.3	<i>Water Tube Boiler</i>	8
Gambar 2.4	Paket <i>Boiler</i>	9
Gambar 2.5	<i>Circulating Fluidized Bed Combustion (CFBC) Boiler</i>	11
Gambar 2.6	Rumus bagun Batubara	12
Gambar 2.7	Batubara Jenis Antrasit	13
Gambar 2.8	Batubara Jenis <i>Bituminous</i>	13
Gambar 2.9	Batubara Jenis <i>Sub-bituminous</i>	14
Gambar 2.10	Batubara Jenis <i>Lignit</i>	14
Gambar 2.11	Batubara Jenis <i>Gambut</i>	15
Gambar 2.12	Penampakan <i>slagging</i>	25
Gambar 2.13	Penampakan <i>fouling</i>	27
Gambar 2.14	Boiler B 0201B	29
Gambar 2.15	Diagram neraca energi	33
Gambar 3.1	Diagram alur Tugas Akhir	36
Gambar 3.2	Sistem Kerja UBB	38
Gambar 4.1	Grafik <i>index slagging</i> perminggu terhadap Sulfur	44
Gambar 4.2	Grafik <i>index slagging</i> perharian	45
Gambar 4.3	Penampakan <i>slagging</i> ada boiler B 0201B	46
Gambar 4.4	Penampakan setelah dilakukan <i>cleaning</i>	47
Gambar 4.5	Grafik <i>Index Fouling</i> Mingguan terhadap $\text{Na}_2\text{O}$	47
Gambar 4.6	Grafik <i>Index Fouling</i> Harian	48
Gambar 4.7	<i>Fouling</i> yang ada pada Air <i>Preheater</i>	49
Gambar 4.8	Grafik efisiensi boiler B 0201B Bulan Juli 2016	53
Gambar 4.9	Grafik perbandingan efisiensi boiler B 0201B dengan <i>index slagging &amp; fouling</i> bulan Juli 2016	54
Gambar 4.10	Proses perpindahan panas pada boiler secara konduksi saat terjadi <i>slagging</i> dan <i>fouling</i>	56

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



## **DAFTAR TABEL**

Tabel 3.1	Tabel komposisi unsur senyawa pada batubara	40
-----------	---	----

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Saat ini harga bahan bakar terus meningkat naik dan untuk ketersediaan bahan bakar fosil juga terbatas, maka banyak perusahaan berusaha untuk menekan pemakaian bahan bakar tanpa mengganggu proses produksinya. Ada beberapa cara yang dilakukan diantaranya adalah menaikkan efisiensi baik tenaga kerja maupun mesin-mesin pembangkitnya, semisal untuk mesin *boiler*. Pada mesin *boiler*, metode yang digunakan untuk menaikkan efisiensinya ada bermacam-macam, diantaranya adalah dengan cara memaksimalkan hasil proses pembakar di *boiler*, yang dimana dengan menggunakan bahan bakar yang telah standar akan menghasilkan proses pembakaran yang sempurna. Untuk mendapatkan efisiensi yang optimal sangat dipengaruhi oleh proses pembakaran yang sempurna.<sup>[6]</sup> Proses pembakaran yang sempurna itu juga dipengaruhi oleh kualitas bahan bakar yang digunakan baik atau tidak serta perlakuan terhadap batubara saat dimasukkan dalam proses pembakaran. Untuk proses pembakaran yang terjadi di PT. Petrokimia pabrik 3 unit UBB yang dimana bahan bakar yang digunakan untuk *boiler* B 0201B adalah batubara. Di PT. Petrokimia Gresik kualitas batubara sangat diperhatikan, karena batubara dengan kualitas baik akan menghasilkan kalor yang tinggi dan *Ash* yang rendah.

Pada bahan bakar batubara umumnya mengandung sejumlah *ash* dan pada proses pembakaran pasti akan menghasilkan *ash*. *Ash* ini akan menurunkan nilai kalor bahan bakar dan akan menimbulkan *fuel storage* menjadi berat, maka diperlukan peralatan yang besar untuk mengumpulkan sisa *ash* dari pembakaran, memindahkan dan membuang *ash*. Dalam proses pada *boiler* dengan menggunakan batubara masalah utama dari *ash* adalah endapannya. Maka dari itu abu pada proses perpindahan panas di *boiler* telah menjadi tantangan operasional yang sangat penting.<sup>[15]</sup> *Ash* dapat dilepaskan

dalam bentuk leburan atau dalam keadaan plastis. Hal tersebut akan mengakibatkan adanya penumpukan *ash* pada dinding *furnace* dan permukaan panas lainnya. Peristiwa penumpukan *ash* pada dinding *boiler* ini disebut dengan *slagging*. Walaupun dalam porsi yang kecil, *slagging* dapat menjadi besar pengaruhnya terhadap kerja *boiler*. *Slagging* pada dinding *furnace* akan sangat berpengaruh pada perpindahan panas antar tube-tube, menurunkan absorpsi panas, menunda pendinginan *flue gas* dan meningkatkan temperature keluar *furnace*.<sup>[8]</sup>

Selain *slagging*, akibat dari *ash* adalah terbentuknya *Fouling*. Terbentuknya *fouling* disebabkan oleh pembentukan sulfat alkali, terutama  $\text{CaSO}_4$  dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , yang dimana kandungan tersebut ikut terbawa bersama dengan *fly ash*. Jenis depositnya biasanya sangat berhubungan dengan penggunaan batubara dan air yang dibawanya.<sup>[16]</sup>

Pengaruh penumpukan *slagging* dan *fouling* akan sangat berpengaruh pada perpindahan panas yang terjadi pada proses di *boiler*. Hal ini juga akan mempengaruhi konsumsi penggunaan bahan bakar yang digunakan akan semakin meningkat. Sehingga pada penelitian ini akan membahas mengenai proses pembentukan *slagging* dan *fouling* serta pengaruhnya terhadap performansi dan efisiensi pada *boiler* B 0201B di PT. Petrokimia Gresik pabrik 3 unit UBB.

## 1.2. Permasalahan

Permasalahan dalam Tugas Akhir ini adalah :

- Bagaimana cara mengetahui komposisi terbentuknya *slagging* dan *fouling* pada *boiler* B 0201B dengan bahan bakar batubara di Pabrik 3 Unit UBB PT. Petrokimia Gresik.
- Bagaimana mengetahui efisiensi perbakaran yang terjadi pada *Boiler* B 0201B dengan bahan bakar batubara di Pabrik 3 Unit UBB PT. Petrokimia Gresik
- Bagaimana pengaruh *slagging* dan *fouling* pada performansi proses pembakaran di *boiler* B 0201B di Pabrik 3 Unit UBB PT. Petrokimia Gresik

### 1.3. Tujuan

Tujuan yang akan dicapai pada Tugas Akhir ini adalah :

- Mengetahui komposisi dan proses pembentukan *slagging* dan *fouling* pada *boiler* B 0201B dengan bahan bakar batubara Pabrik 3 Unit UBB PT. Petrokimia Gresik
- Mengetahui efisiensi pembakaran pada *boiler* B 0201B dengan bahan bakar batubara Pabrik 3 Unit UBB di PT. Petrokimia Gresik
- Mengetahui pengaruh dari *slagging* dan *fouling* pada performansi proses pembakaran di *boiler* B 0201B

### 1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah :

- Penelitian ini membahas jenis dan karakteristik penggunaan batubara yang digunakan sebagai bahan bakar pada *boiler* B 0201B Pabrik 3 Unit UBB PT. Petrokimia Gresik berdasarkan data *proximasi* dan *ultimasi*
- Penelitian ini akan membahas proses pembakaran batubara pada *boiler* B 0201B Pabrik 3 Unit UBB PT. Petrokimia Gresik
- Penelitian ini membahas parameter yang berpengaruh pada proses pembakaran yang terjadi pada *boiler* B 0201B Pabrik 3 Unit UBB PT. Petrokimia Gresik
- Penelitian ini berfokus pada hasil efisiensi pembakaran pada *boiler* B 0201B Pabrik 3 Unit UBB PT. Petrokimia Gresik
- Penelitian ini akan berfokus pada proses terjadinya *slagging* dan *fouling* pada *boiler* B 0201B Pabrik 3 Unit UBB PT. Petrokimia Gresik
- Penelitian ini akan membatasi tentang pengaruh *slagging* dan *fouling* pada proses pembakaran di *boiler* B 0201B Pabrik 3

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

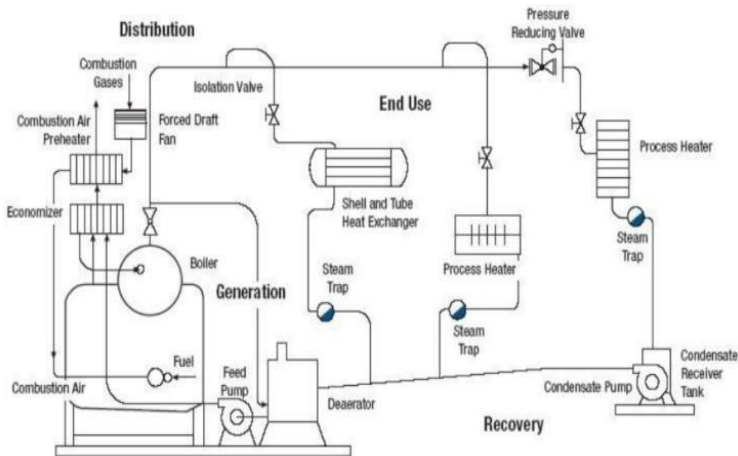
## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Boiler**

*Boiler* adalah alat yang digunakan untuk menghasilkan uap panas (*steam*) pada suhu dan tekanan tertentu. *Steam* tersebut digunakan untuk mengalirkan panas menuju suatu proses. Sistem kerja pada *boiler* terdiri dari: sistem air umpan, sistem *steam*, dan juga sistem bahan bakar. Pada sistem air umpan menyediakan air untuk proses pada *boiler* secara otomatis sesuai dengan kebutuhan *steam* yang diinginkan. Pada sistem *steam* memiliki fungsi yaitu untuk mengumpulkan serta mengontrol produksi *steam* yang terjadi didalam *boiler*. *Steam* dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Untuk keseluruhan sistem, tekanan *steam* diatur menggunakan *valve* dan diatur oleh sensor tekanan. Pada sistem bahan bakar pada *boiler* adalah peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan pada proses *boiler*. Peralatan yang digunakan pada sistem bahan bakar bergantung dari jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem.<sup>[3]</sup>

Air yang disuplai ke dalam *boiler* untuk diubah menjadi *steam* disebut air umpan. Dua sumber air umpan adalah kondensat atau *steam* yang mengembun kembali setelah proses dan air *make up* (air baku yang sudah diolah sedemikian rupa sesuai dengan memiliki persyaratan air umpan untuk *boiler*) yang berasal dari pengadaan air bersih. Untuk mendapatkan efisiensi *boiler* yang lebih tinggi digunakan *economizer* untuk memanaskan awal air umpan menggunakan limbah panas pada gas buang.



**Gambar 2.1** Diagram Skematik *Boiler*<sup>[4]</sup>

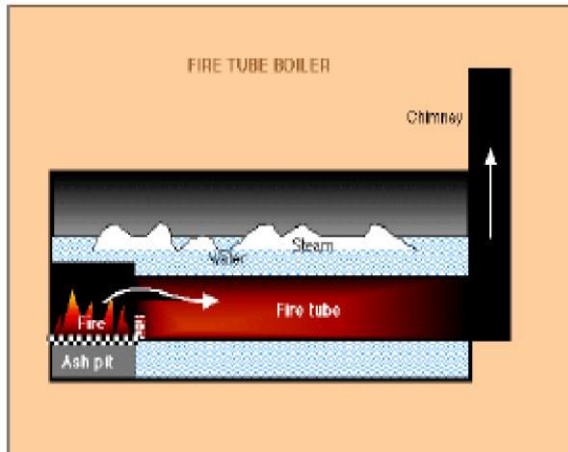
### 2.1.1. Jenis *Boiler*

Terdapat beberapa jenis *boiler* yang terdapat di industry antara lain: *fire tube boiler*, *water tube boiler*, *paket boiler*, *fluidized bed combustion boiler*, *atmospheric fluidized bed combustion boiler*, *pressurized fluidized bed combustion boiler*, *circulating fluidized bed combustion boiler*.<sup>[11]</sup>

#### a. *Fired Tube Boiler*

Pada *fire tube boiler*, gas panas melewati pipa-pipa dan air umpan *boiler* ada di dalam *shell* untuk diubah menjadi *steam*. *Fire tube boiler* digunakan untuk kapasitas *steam* yang relative kecil dengan tekanan *steam* rendah sampai sedang. Untuk pedoman *fire tube boiler* kompetitif digunakan pada kecepatan *steam* 12.000 kg/jam dengan 18 kg/cm<sup>2</sup>. Bahan bakar dapat menggunakan minyak bakar, gas, atau bahan bakar padat dalam proses operasi. Sebagian besar *fire tube boiler* dikonstruksi sebagai *paket boiler* (dirakit oleh pabrik) untuk semua bahan bakar.



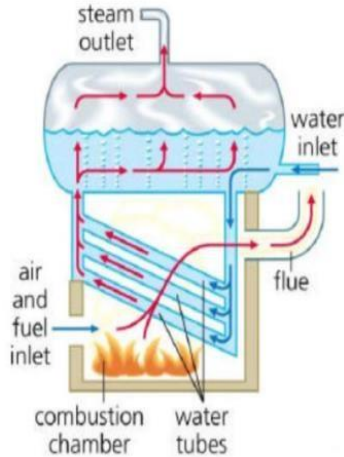


**Gambar 2.2** *Fired Tube Boiler* <sup>[4]</sup>

b. *Water Tube Boiler*

Pada *water tube boiler*, air umpan *boiler* mengalir melalui pipa-pipa masuk ke dalam drum. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakar membentuk *steam* pada daerah uap dalam drum. *Boiler* ini dipilih jika kebutuhan *steam* dan tekanan steam sangat tinggi seperti pada kasus *boiler* untuk pembangkit tenaga. *Water tube boiler* yang sangat modern dirancang dengan kapasitas steam antara 4.500-12.000 kg/jam, dengan tekanan yang sangat tinggi. Banyak *water tube boiler* yang dikonstruksi secara paket menggunakan bahan bakar minyak bakar dan gas. Untuk bahan bakar padat tidak umum dirancang secara paket. Karakteristik *water tube boiler* sebagai berikut :

- *Forced, induced, dan balanced draft* digunakan untuk meningkatkan efisiensi pembakaran.
- Kurang toleran terhadap kualitas air yang dihasilkan dari plant pengolahan air.
- Memungkinkan untuk tingkat efisiensi panas yang lebih tinggi.



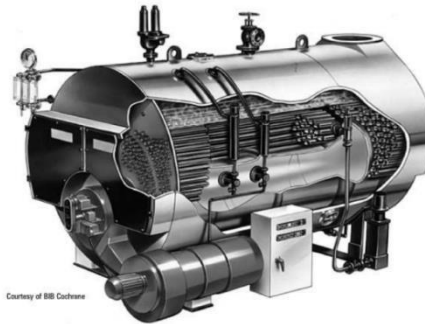
**Gambar 2.3** *Water Tube Boiler* <sup>[4]</sup>

c. Paket *Boiler*

Disebut paket *boiler* karena sudah tersedia dalam paket yang lengkap. Pada saat dikirim ke pabrik hanya memerlukan pipa *steam*, pipa air, suplai bahan bakar dan sambungan listrik untuk dapat beroperasi. Paket *boiler* bertipe *shell* dan *tube* dengan rancangan *fire tube* transfer panas yang baik. Berikut ini ciri-ciri dari paket *boiler* antara lain :

- Ruang pembakaran berukuran kecil dan panas yang dilepas menghasilkan penguapan yang lebih cepat.
- Jumlah pipa yang berdiameter kecil banyak sehingga perpindahan panas konveksi baik.
- Sistem *forced* atau *induced draft* menghasilkan efisiensi pembakaran yang baik.
- Tingkat efisiensi *boiler* lebih tinggi dari pada jenis *boiler* lain *Boiler* ini dikelompokkan berdasarkan jumlah *pass* (berapa kali gas pembakaran melintasi *boiler*).

Ruang pembakaran ditempatkan sebagai lintasan pertama kemudian satu, dua, atau tiga set pipa api. Pada umumnya tiga *pass*/lintasan dengan dua set *fire tube* (pipa api) dan pipa gas buang ada di belakang *boiler*.



**Gambar 2.4** Paket *Boiler* <sup>[4]</sup>

d. *Boiler* dengan pembakaran *fluidized Bed* (FBC)

Pembakaran dengan *fluidized bed* ( FBC ) sebagai alternatif yang memiliki banyak keuntungan, desain yang kompak, fleksibel terhadap bahan bakar, efisiensi pembakaran yang tinggi, berkurangnya polutan  $SO_x$  dan  $NO_x$ . Bahan bakar yang dapat dibakar dalam *boiler* ini adalah batu bara, sekam padi, bagas, limbah pertanian, dll. *Boiler fluidized bed* memiliki kapasitas 0.5 ton/jam sampai lebih dari 100 ton/jam.

Apabila udara atau gas yang terdistribusi secara merata dilewatkan ke atas melalui *bed* partikel padat seperti pasir yang disangga oleh saringan halus, partikel tidak akan terganggu pada kecepatan yang rendah. Begitu kecepatan berangsur naik terbentuk keadaan dimana partikel akan menyatu dalam aliran udara ini disebut aliran fluidisasi. Dengan kenaikan kecepatan udara terjadi pembentukan gelembung turbulensi yang kuat, pencampuran cepat dan pembentukan permukaan *bed* yang rapat. *Bed* partikel bersifat seperti cairan mendidih disebut *bed* gelembung fluida (*bubbling fluidized bed*). Jika partikel pasir dalam keadaan terfluidisasikan dipanaskan hingga ke suhu nyala batu bara, dan diinjeksikan secara terus menerus ke *bed*, batu bara akan terbakar dengan cepat dan *bed* mencapai suhu yang seragam. Pembakaran dengan *fluidized bed* (FBC) berlangsung pada suhu  $840^0\text{ C}$  hingga  $950^0\text{ C}$ . Karena suhu ini jauh berada di bawah suhu

fusi abu, maka pelelehan abu dan permasalahan yang terkait di dalam dapat dihindari. Suhu pembakaran yang lebih rendah disebabkan tingginya koefisien perpindahan panas sebagai akibat pencampuran cepat dalam *fluidized bed* dan ekstraksi panas yang efektif dari *bed* melalui perpindahan panas pada pipa dan dinding *bed*. Kecepatan gas dicapai diantara kecepatan fluidisasi minimum dan kecepatan masuk partikel. Hal ini menjamin operasi *bed* yang stabil dan menghindari partikel yang terbawa di dalam jalur gas.

e. *Atmospheric Fluidized Bed Combustion (ABFC) Boiler*

*Boiler* ini berupa *shell boiler* konvensional biasa yang ditambah dengan sebuah *fluidized bed combustor*. Sistem ini digabungkan dengan *water tube/boiler* pipa air konvensional. Batu bara dihancurkan menjadi ukuran 1-10 mm tergantung pada tingkatan batu bara dan jenis pengumpan udara ke ruang pembakaran. Atmosfer, yang bertindak sebagai udara fluidisasi dan pembakaran dimasukkan dengan tekanan setelah diberi pemanasan awal oleh gas buang bahan bakar. Pipa dalam *bed* yang membawa air berfungsi sebagai *evaporator*. Produk gas hasil pembakaran melewati bagian *super heater* dari *boiler* lalu mengalir ke *economizer*, ke pengumpul debu dan pemanas awal sebelum di buang ke atmosfer.

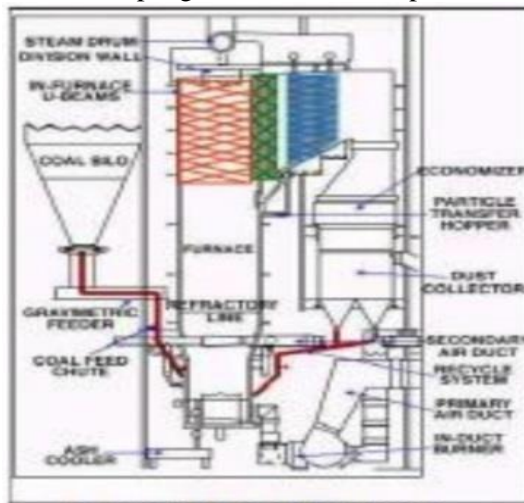
f. *Pressurized Fluidized Bed Combustion (PFBC) Boiler*

Pada tipe ini terdapat sebuah *compressor* memasok udara *Forced Draft* (FD), dan pembakarnya merupakan tangki bertekanan. Laju panas yang dilepas dalam *bed* sebanding dengan tekanan *bed* sehingga *bed* akan digunakan untuk mengekstraksi sejumlah panas. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dan penyerapan sulfur dioksida dalam *bed*. *Steam* dihasilkan di dalam dua pipa, satu *bed*, yang satunya di atas *bed*. Gas panas dari cerobong menggerakkan turbin pembangkit tenaga. Sistem PFBC digunakan pula untuk pembangkit kogenerasi (*steam* dan listrik) atau pembangkit tenaga dengan siklus gabungan/ *combine cycle*. Operasi *combine cycle* (turbin gas dan turbin uap)

meningkatkan efisiensi konversi keseluruhan sebesar 5% hingga 8%.

g. *Circulating Fluidized Bed Combustion (CFBC) Boiler*

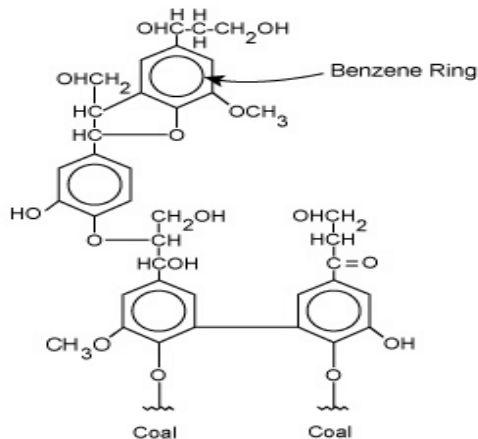
Dalam *system* sirkulasi, parameter *bed* dijaga untuk membentuk padatan melayang dari *bed*. Padatan diangkat pada fase yang relatif terlarut dalam pengangkat padatan. Tidak terdapat pipa pembangkit *steam* yang terletak dalam *bed*. Pembangkitan dan pemanasan berlebih *steam* berlangsung di bidang konveksi, dinding air, pada keluaran pengangkat/ riser. *Boiler* CFBC lebih ekonomis daripada AFBC, untuk penerapan di industri memerlukan lebih dari 75-100 ton/jam steam. Semakin tinggi karakteristik tungku *boiler* CFBC akan memberikan penggunaan ruang yang semakin baik, partikel bahan bakar lebih besar, waktu tinggal bahan penyerap untuk pembakaran efisien dan penangkapan  $\text{SO}_2$  semakin besar pula dan semakin mudah penerapan teknik pembakaran untuk pengendalian  $\text{NO}_x$  daripada AFBC.



**Gambar 2.5** *Circulating Fluidized Bed Combustion ( CFBC ) Boiler* <sup>[4]</sup>

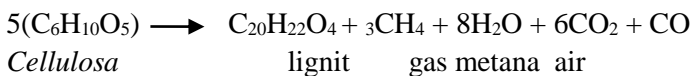
## 2.2. Batubara

Batubara adalah salah satu bahan bakar fosil. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hydrogen dan oksigen. Batu bara juga adalah batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk. Analisis unsur memberikan rumus formula empiris seperti  $C_{137}H_{97}O_9NS$  untuk bituminus dan  $C_{240}H_{90}O_4NS$  untuk antrasit.<sup>[3]</sup>



**Gambar 2.6** Rumus kimia Batubara <sup>[10]</sup>

Reaksi pembentukan batubara dapat diperlihatkan sebagai berikut :



### 2.2.1. Jenis Batubara

Berdasar tingkat proses pembentukannya yang dikontrol oleh tekanan, panas dan waktu, batu bara umumnya dibagi dalam lima kelas: *antrasit*, *bituminus*, *sub-bituminus*, *lignit* dan gambut.

- a) **Antrasit** adalah kelas batu bara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan (luster) metalik, mengandung antara 86% - 98% unsur Karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%.



**Gambar 2.7** Batubara Jenis Antrasit <sup>[10]</sup>

- b) **Bituminous** mengandung 68 - 86% unsur Karbon (C) dan berkadar air 8-10% dari beratnya. Kelas batu bara yang paling banyak ditambang di Indonesia, tersebar di pulau sumatera, kalimantan dan sulawesi.



**Gambar 2.8** Batubara Jenis *Bituminous* <sup>[10]</sup>

- c) *Sub-bituminus* mengandung sedikit Karbon dan banyak air, dan oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan *bituminus*.



**Gambar 2.9** Batubara Jenis *Sub-bituminus* <sup>[10]</sup>

- d) *Lignit* atau batu bara coklat adalah batu bara yang sangat lunak yang mengandung air 35-75% dari beratnya.



**Gambar 2.10** Batubara Jenis *Lignit* <sup>[10]</sup>



- e) **Gambut**, berpori dan memiliki kadar air di atas 75% serta nilai kalori yang paling rendah.



**Gambar 2.11** Batubara Jenis **Gambut** <sup>[10]</sup>

### 2.2.2. Kualitas Batubara

Batubara yang diperoleh dari penambangan pasti mengandung pengotor (*impurities*). Keberadaan pengotor ini diperparah dengan kenyataan bahwa tidak mungkin memilih batubara yang bersih dan terbebas dari mineral. Penambangan dalam jumlah besar selalu menggunakan alat-alat berat seperti *bulldoser, backhole, tractor*, dan lainnya.

#### a. *Inherent Impurities*

Merupakan pengotor bawaan yang terdapat pada batubara. Batubara yang sudah dicuci (*washing*) yang di kecilkan ukuran butirannya (*crushing*) kemudian dibakar dan menyisakan abu. Pengotor ini merupakan pengotor bawaan pada saat pembentukan batubara, pengotor tersebut dapat berupa gipsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), anhidrit ( $\text{CaSO}_4$ ), pirit ( $\text{FeS}_2$ ), silika ( $\text{SiO}_2$ ) dapat pula berbentuk tulang-tulang binatang (diketahui dari senyawa-senyawa fosfor dari analisis abu). Pengotor bawaan ini tidak mungkin dihilangkan sama sekali, tetapi dapat dikurangi dengan cara pembersihan. Proses ini dikenal dengan teknologi batubara bersih.

*b. External impurities*

Merupakan pengotor yang berasal dari luar , timbul pada saat proses penambangan. Dalam menentukan mutu / kualitas batubara perlu diperhatikan beberapa hal :

- *Heating Value (HV) ( Calorific Value / Nilai kalor)*

Dinyatakan dengan kkal/Kg, banyaknya jumlah kalori yang dihasilkan batubara tiap satuan berat (dalam kilogram).

- *Moisture Content* (kandungan air)

Batubara dengan jumlah lengas tinggi akan memerlukan lebih banyak udara primer untuk mengeringkan batubara tersebut agar suhu batubara pada saat keluar dari gilingan tetap, sehingga hasilnya memiliki kualitas yang terjamin. Jenis air sulit untuk dilepaskan tetapi dapat dikurangi, dengan cara memperkecil ukuran butir batubara (Wahyudiono,2006).

- *Ash Content* (Kandungan abu)

Komposisi batubara bersifat heterogen ,apabila batubara dibakar maka senyawa organik yang ada akan di ubah menjadi senyawa oksida yang berukuran butiran dalam bentuk abu. Abu dari sisa pembakaran inilah yang dikenal sebagai ash content. Abu ini merupakan kumpulan dari bahan – bahan pembentuk batubara yang tidak dapat terbakar, atau yang di oksidasi oleh oksigen . Bahan sisa dalam bentuk padatan ini antara lain senyawa  $\text{SiO}_2$  ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  ,  $\text{Mn}_3\text{O}_4$  ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ,  $\text{MgO}$  ,  $\text{K}_2\text{O}$  ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_3$  dan oksida unsur lainnya.

- *Sulfur Content* (kandungan belerang)

Belerang yang terdapat pada batubara dalam bentuk senyawa organik dan arorganik, dalam senyawa anorganik dapat dijumpai dalam bentuk mineral pirit ( $\text{FeS}_2$  bentuk kristal kubus) , markasit ( $\text{FeS}_2$  bentuk kristal *orthorombik*) atau dalam bentuk sulfat. Sedangkan belerang organik terbentuk selama terjadinya proses *coalification*.(Krevelen, 1993)

- *Volatile matter* ( bahan mudah menguap )

Kandungan *Volatile matter* mempengaruhi kesempurnaan pembakaran dan intensitas nyala api.

- *Fixed Carbon*

Didefinisikan sebagai material yang tersisa, setelah berkurangnya *moisture*, *volatile matter* dan *ash*. Hubungan ketiganya sebagai berikut:

$$\text{Fixed Carbon (\%)} = 100\% - \text{Moisture Content} - \text{Ash Content}$$

$$\text{Fixed Carbon} = 100 - \text{Volatile Matter (\%)}$$

- *Hardgrove Grindability Index* (HGI)

Suatu bilangan yang menunjukkan mudah atau sukarnya batubara di giling atau di gerus menjadi bentuk serbuk. Butiran paling halus < 3 mm sedangkan yang paling kasar sampai 50 mm.

- *Ash Fusion Character of coal*

Kualitas batubara adalah sifat fisika dan kimia dari batubara yang mempengaruhi potensi kegunaannya. Kualitas batubara ditentukan oleh maseral dan mineral *matter* penyusunnya, serta oleh derajat *coalification* (*rank*).

Umumnya, untuk menentukan kualitas batubara dilakukan analisa kimia pada batubara yang diantaranya berupa analisis proksimat dan analisis ultimat. Analisis proksimat dilakukan untuk menentukan jumlah air (*moisture*), zat terbang (*volatile matter*), karbon padat (*fixed carbon*), dan kadar abu (*ash*), sedangkan analisis ultimat dilakukan untuk menentukan kandungan unsur kimia pada batubara seperti : karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur, unsur tambahan dan juga unsur jarang.

Kualitas batubara ditentukan dengan analisis batubara di laboratorium, diantaranya adalah analisis proksimat dan analisis ultimat. Analisis proksimat dilakukan untuk menentukan jumlah air, zat terbang, karbon padat, dan kadar abu, sedangkan analisis ultimat dilakukan untuk menentukan kandungan unsur kimia pada batubara seperti : karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur, unsur tambahan dan juga unsur jarang.

Klasifikasi ini dibuat berdasarkan jumlah karbon padat dan nilai kalori dalam basis dry, mineral *matter free* (dmmf). Untuk mengubah *basis air dried* (adb) menjadi *dry, mineral matter free* (dmmf) maka digunakan *Parr Formulas* (ASTM, 1981, *op cit Wood et al.*, 1983). dimana :

FC = % karbon padat (adb)

VM = % zat terbang (adb)

M = % air total (adb)

A = % Abu (adb)

S = % sulfur (adb)

Btu = *british thermal unit* =  $1,8185 \times CV$  adb

### 2.2.3. Analisis Batubara

Pada prinsipnya dikenal dua jenis pengujian analisis untuk kualitas batubara yaitu Analisis Proximat (*Proximate analysis*) dan Analisis Ultimate (*Ultimate Analysis/Elemental Analysis*).

a. Analisis *Proksimate* , meliputi analisis:

- *Moisture Content*
- *Ash Content*
- *Volatile Metter*
- *Fixed Carbon*
- *Total Sulfur*
- *Gross Calorific Value*
- *Hardgrove Grindability Index*

b. Analisis *Ultimate* , meliputi analisis

- *Carbon Content*
- *Hidrogen Content*
- *Oxygen Content*
- *Nitrogen Content*
- *Sulfur Content*

c. Analisis *Steaming Coal*

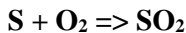
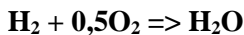
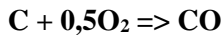
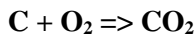
- Nilai Kalori

- *Ash Content*

#### 2.2.4. Pembakaran Batubara

Batubara merupakan bahan baku utama pembangkit listrik tenaga uap. Batubara menyimpan energi di dalamnya secara kimia melalui ikatan-ikatan kimia antara karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, dan sulfur. Batubara tidak memiliki struktur kimia yang baku, karena ia merupakan campuran dari beberapa ikatan hidrokarbon yang kompleks. Ikatan-ikatan hidrokarbon inilah yang menyimpan energi, yang apabila terputus melalui proses pembakaran, akan menghasilkan energi panas yang untuk selanjutnya dipergunakan panasnya di *boiler* untuk memanaskan air.

Dan berikut adalah reaksi kimia yang terjadi saat batubara dibakar:



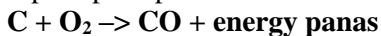
Dapat kita lihat pada reaksi kimia di atas bahwa hasil pembakaran dari batubara yaitu berupa **CO<sub>2</sub>**, **CO**, **H<sub>2</sub>O**, dan **SO<sub>2</sub>**. Ada satu lagi bahan polutan yang dihasilkan yaitu NO<sub>x</sub>. Untuk mencegah terbentuknya **CO**, maka proses pembakaran di atur oleh jumlah udara yang masuk ke proses pembakaran. Semakin tepat jumlah udara yang dimasukkan, maka akan semakin sempurna proses pembakaran batubara tersebut. Disini diperlukan perhitungan perbandingan udara-bahan bakar yang tepat (*air-fuel ratio*). Namun untuk lebih tepat menghasilkan pembakaran yang sempurna, PLTU menggunakan *excess air*. *Exceeds air* adalah udara lebih yang dikontrol jumlahnya di akhir proses pembakaran, sehingga apabila jumlahnya cukup besar itu artinya adalah semakin

sempurna proses pembakaran yang terjadi. Umumnya *excess air* disetting di angka sekitar 4-5% udara dalam berat.

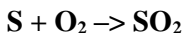
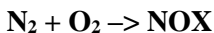
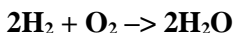
Selain bahan-bahan di atas, dihasilkan juga sebagai bahan pencemar antara lain abu hasil pembakaran (*fly ash*) dan kerak hasil pembakaran (*bottom ash*). Bahan-bahan tersebut termasuk limbah beracun yang pengelolaannya harus secara hati-hati. Selain itu juga *fly ash* juga masih bisa digunakan sebagai bahan baku pembuatan semen. *Fly ash* yang keluar dari *boiler* ditangkap menggunakan suatu alat bernama *Electrostatic Precipitators* agar tidak langsung dibuang menuju *chimney* atau cerobong asap. Sedangkan untuk polutan lain seperti  $\text{SO}_2$ , digunakan suatu sistem bernama *Flue Gas Desulphurization*.<sup>[5]</sup>

### 2.2.5. Sistem Pembakaran Batubara didalam *Boiler*

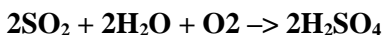
Sistem pembakaran pada pembangkitan listrik tenaga uap khususnya pembangkit yang menggunakan bahan bakar batubara merupakan system yang berfungsi memutus ikatan-ikatan hidrokarbon dari batubara untuk menghasilkan *heat* atau energi panas dengan melibatkan oksigen dari udara seperti pada persamaan kimia berikut.



Karena di dalam batubara terdapat ikatan-ikatan kimia antara karbon, hidrogen, nitrogen, dan sulfur maka pada proses pembakaran juga akan timbul reaksi kimia antara oksigen dengan ikatan-ikatan kimia tersebut yang ditunjukkan pada reaksi kimia sebagai berikut.

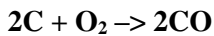


Selanjutnya  $\text{SO}_2$  bersamaan dengan  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{O}_2$  yang berada di dalam *boiler* bereaksi dan membentuk rantai kimia,



Timbulnya asam nitrat HNO<sub>3</sub> dan asam sulfat sebagai hasil pembakaran unsur Nitrogen (N) dan Sulfur (S) yang terbawa oleh batubara dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan sehingga jumlahnya harus dibatasi dan dimonitoring melalui perangkat yang disebut dengan CEMS (*Continuous Emission Monitoring System*) berdasarkan prosentase nilai yang telah ditetapkan oleh kementerian lingkungan hidup.

Kemudian apabila oksigen yang diberikan dalam proses pembakaran tidak sesuai dengan jumlah batubara yang akan dibakar, maka ikatan kimia karbon (C) akan terbakar secara tidak sempurna dan menjadi karbonmonoksida seperti pada reaksi kimia berikut.



Pembakaran yang terjadi secara tidak sempurna juga akan mengakibatkan beberapa permasalahan yang diantaranya adalah :

- Timbulnya *soot* atau jelaga yang menempel di dalam *boiler* sehingga menghambat proses perpindahan panas (*heat transfer*)
- Temperatur gas buang (*flue gas*) menjadi lebih tinggi
- Timbulnya karbon yang tidak terbakar (*unburn carbon*) dalam jumlah yang banyak
- Pola api (*fire pattern*) yang tidak terbentuk secara baik
- Menyebabkan timbulnya ledakan pada ruang bakar (*boiler*).

Oleh karena itu untuk menjaga agar pembakaran dapat terbakar secara sempurna dan sebagian besar batubara dapat seluruhnya terbakar maka empat kondisi berikut harus terpenuhi :

- Jumlah suplai udara yang cukup untuk membakar batubara
- Membuat turbulensi pada saat pencampuran antara udara dan batubara
- Menjaga temperature *boiler* agar tetap tinggi untuk membakar campuran batubara dengan udara

- *Volume furnace* yang besar sehingga memberikan waktu yang cukup bagi campuran batubara dan udara untuk terbakar secara sempurna

Secara ideal proses pembakaran dapat terjadi apabila jumlah batubara dan udara pada proporsi tertentu yang berdasarkan prinsip pembakaran stoikiometri. Namun kenyataan yang terjadi adalah campuran bahan bakar dengan udara di dalam *boiler* sangat mustahil untuk mencapai kondisi sempurna sehingga jumlah udara yang lebih banyak dibandingkan dengan udara pada kondisi yang ideal (udara teoritis) untuk memastikan terjadinya pembakaran yang sempurna, atau disebut dengan *excess air*.<sup>[7]</sup>

### 2.3. *Slagging dan Fouling*

Salah satu masalah utama pada *boiler* adalah terjadinya pembentukan deposit dan kerak pada permukaan perpindahan panasnya. Keberadaan deposit dan kerak pada permukaan perpindahan panas akan menurunkan kapasitas penyerapan panasnya. Penurunan ini ditandai dengan naiknya temperatur *flue gas*, sehingga akan menyebabkan terjadinya penurunan produksi *steam* dan efisiensi *boiler*. Deposit dapat berasal dari pembentukan jelaga, abu pembakaran dari bahan bakar padat maupun cair, dan pembakaran tidak sempurna bahan bakar, sedangkan pembentukan kerak disebabkan oleh kondisi air yang tidak bagus. Permasalahan pembentukan deposit ini dapat disebut sebagai *Slagging* dan *fouling*.

*Slagging* dan *fouling* adalah fenomena menempel dan menumpuknya abu batu bara yang melebur pada pipa penghantar panas (*heat exchanger tube*) ataupun dinding *boiler*. Kedua hal ini sangat serius karena dapat memberikan dampak yang besar pada operasional *boiler*, seperti masalah penghantaran panas, penurunan efisiensi *boiler*, tersumbatnya pipa, serta kerusakan pipa akibat terlepasnya *clinker*. Keseluruhan masalah yang timbul tadi sering pula disebut dengan *clinker trouble*.



Fenomena menempelnya abu ini terutama dipengaruhi oleh suhu melebur abu (*ash fusion temperature, AFT*) dan unsur – unsur dalam abu. Selain kedua faktor tadi, evaluasi terhadap masalah ini juga dapat diketahui melalui perhitungan rasio terhadap beberapa unsur tertentu dalam abu.

Penilaian terhadap *Slagging & fouling* ini perlu dilakukan secara menyeluruh dengan melibatkan berbagai faktor, karena terkadang hasilnya tidak akurat apabila hanya mendasarkan diri pada satu aspek saja. Karena terdapat banyak faktor yang terlibat dalam penilaian tersebut, maka disini hanya akan dijelaskan metode evaluasi yang umum dilakukan.

### 2.3.1. *Slagging*

*Slagging* terjadi pada bagian terdingin *boiler*. Pada permukaan tersebut, *inorganik volatil kondensat* akan menempel dan membentuk deposit. Selain itu, partikel-partikel yang meleleh, akan mengalami pendinginan dan juga membentuk deposit pada permukaan terdingin *boiler*. Seiring berjalannya waktu, deposit ini akan semakin tebal dan akan mengisolasi proses perpindahan panas dari *flue gas* ke air atau *steam* di dalam *tube*. Temperatur air atau *steam* yang rendah (pada permukaan deposit padatan) akan menyebabkan terjadinya perpindahan panas ke permukaan tersebut, sehingga temperaturnya suatu saat akan mencapai temperatur leleh dan melelehkan sebagian deposit. Proses berlangsung secara bertahap-tahap. Keberadaan partikel abu dan partikel kecil lainnya, akan terus menerus meningkatkan ketebalan dari deposit, sehingga pada suatu saat deposit tersebut akan semakin berat dan melebihi berat dari *tube* (pada deposit).<sup>[8]</sup>

Untuk *slagging* ini, karakteristiknya dapat dinilai dari suhu lebur abu (AFT) dan kondisi abu itu sendiri. Suhu lebur abu yang rendah akan memudahkan terjadinya *slagging*. Kemudian, diketahui pula bahwa bila rasio unsur alkali ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) terhadap unsur asam ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ) meningkat maka potensi *slagging* meningkat.

Pada *slagging*, yang banyak berpengaruh adalah  $\text{CaO}$  yang merupakan unsur yang mudah menempel di dinding penghantar panas, dan  $\text{Na}_2\text{O}$  yang merupakan unsur yang menentukan kekuatan ikatan abu yang menempel. Tipe *lignit* banyak mengandung kedua unsur tersebut. Dan parameter untuk penilaian *slagging* pada tipe ini adalah suhu melebur abu saja.

Untuk mengetahui apakah abu yang dihasilkan masuk kedalam batubara jenis *lignit* atau *bituminus*, dapat ditentukan dari perbandingan kandungan  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Abu lignit jika  $(\text{CaO} + \text{MgO})/\text{Fe}_2\text{O}_3 > 1,0$  dan abu bituminus jika  $(\text{CaO} + \text{MgO})/\text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 1,0$ .



**Gambar 2.12** Penampakan *slagging* <sup>[12]</sup>

**a) Indeks *slagging***

Perhitungan *Slagging Indeks* (R) untuk *Ash Bituminous* dibawa ke perhitungan base untuk rasio asam dan persen berat pada *dry* basis dari sulfur dalam batu bara. Kandungan sulfur mengindikasikan jumlah besi yang muncul dalam bentuk *pyrite*. Perhitungannya sebagai berikut:

$$\text{base - acid ratio} = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2} \quad (2.1)$$

$$R_s = \frac{B}{A} \times \%S \quad (2.2)$$

dimana :

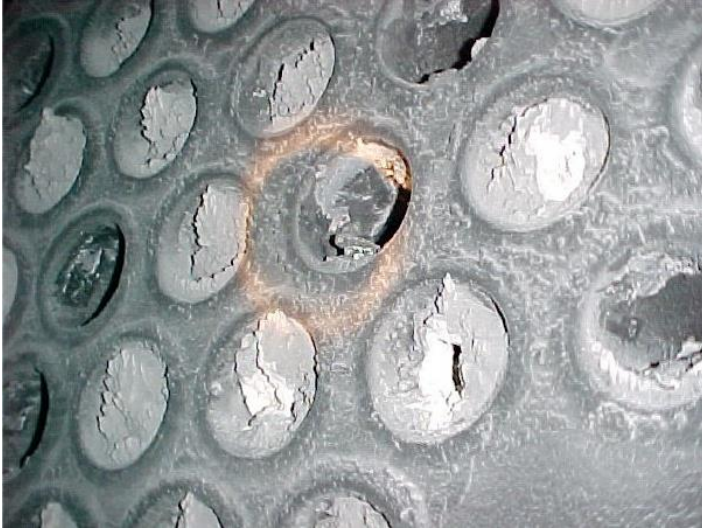
B = CaO + MgO + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O = senyawa basa, %

A = SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiO<sub>2</sub> = senyawa asam, %

### 2.3.2. Fouling

Sedangkan *fouling* adalah akumulasi partikel pada permukaan aliran keluar *flue gas*, yaitu aliran *flue gas* yang melewati permukaan *superheater*, *reheater* dan aliran pipa penguapan. Gambar 2.12 memperlihatkan *fouling* pada permukaan perpindahan panas *heat exchange* pada *boiler* sisi gas. Unsur yang paling berpengaruh pada penempelan abu ini adalah material basa terutama Na, yang dalam hal ini adalah kadar Na<sub>2</sub>O. Bila kadar abu batubara banyak, kemudian unsur basa dalam abu juga banyak, ditambah kadar Na<sub>2</sub>O yang tinggi, maka *fouling* akan mudah terjadi.

Evaluasi karakteristik *fouling* sama dengan untuk *slagging*, yaitu dinilai berdasarkan rasio unsur basa dan asam, serta kadar Na<sub>2</sub>O di dalam abu. Jika nilai – nilai tadi tinggi, maka secara umum kecenderungan *fouling* juga meningkat. Selanjutnya, kadar sulfur yang tinggi juga cenderung mendorong timbulnya *fouling* melalui pembentukan senyawa bersuhu lebur rendah, melalui persenyawaan dengan unsur basa ataupun besi.



**Gambar 2.13** Penampakan *fouling* <sup>[12]</sup>

*Fouling* yang berkembang akan dapat menyebabkan bermacam – macam masalah seperti penurunan suhu uap pada keluaran (*outlet*) *super heater* dan *re-heater*, serta menyempit dan tersumbatnya jalur aliran gas. Untuk menghilangkan abu ini dapat digunakan *soot blower*, sama seperti penanganan pada *slagging*.

Potensi *fouling* untuk abu *lignit* dapat didasarkan pada kandungan  $\text{Na}_2\text{O}$  dengan ketentuan sebagai berikut :

- a. Jika  $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 20\%$  abu batubara
 

$\text{Na}_2\text{O} < 3$ ,	potensi <i>fouling</i> rendah
$3 < \text{Na}_2\text{O} < 6$ ,	potensi <i>fouling</i> menengah sampai tinggi
$6 < \text{Na}_2\text{O}$ ,	potensi <i>fouling</i> berat
  
- b. Jika  $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 < 20\%$  abu batubara
 

$\text{Na}_2\text{O} < 1,2$ ,	potensi <i>fouling</i> rendah sampai menengah
-------------------------------	---

$$1,2 < \text{Na}_2\text{O} < 3, \\ 3 < \text{Na}_2\text{O},$$

potensi *fouling* tinggi  
potensi *fouling* berat

### b) Indeks *fouling*

Indeks *fouling* untuk *ash bituminous* didapatkan dari karakteristik kekuatan sintering menggunakan kandungan sodium dari *ash* batubara dan rasio dasar dari asam:

$$R_f = \frac{B}{A} \times \text{Na}_2\text{O} \quad (2.3)$$

Dimana :

$$B = \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$$

$$A = \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$$

$\text{Na}_2\text{O}$  = % berat alkali dari analisis *ash* batu bara

Klasifikasi potensi *fouling* menggunakan  $R_f$  adalah :

$R_f < 0,2$  = Rendah

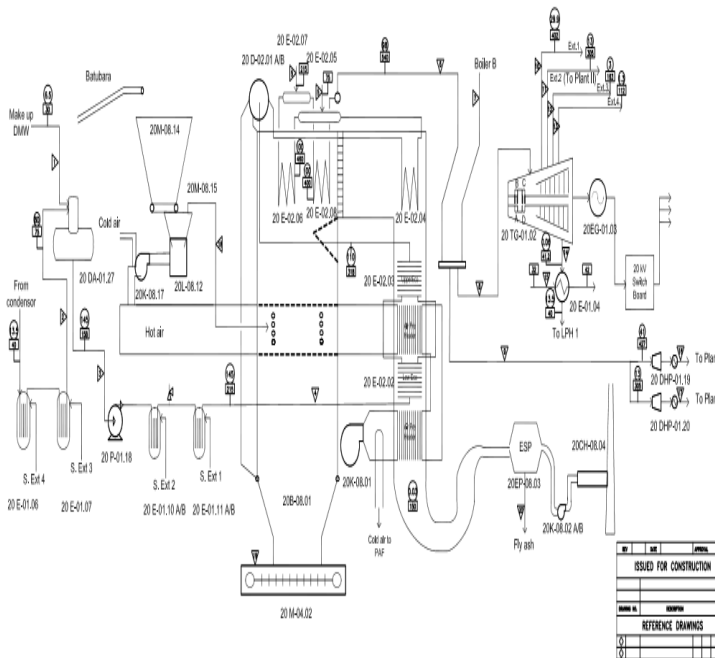
$0,2 < R_f < 0,5$  = Sedang

$0,5 < R_f < 1,0$  = Tinggi

$1,0 < R_f$  = Tinggi Sekali

## 2.4. Boiler B 0201B pada PT. Petrokimia Gresik

PT. Petrokimia Gresik mulai beroperasi pada tanggal 24 Agustus 1976, setelah diresmikan oleh Presiden Soeharto. Memiliki 3 pabrik dan banyak unit. Pada penelitian tugas akhir ini memilih pabrik 3 Unit UBB membahas mengenai *Boiler B 0201B*. UBB mulai beroperasi pada tahun 2010. Instrument yang akan dibahas adalah *boiler B 0201B* pada unit utilitas batubara ini merupakan salah satu ketel uap dengan jenis *Water Tube Boiler* yang digunakan untuk menyuplai kebutuhan uap panas sebagai pembangkit energi dan juga suplai steam untuk pabrik II dan pabrik III, dimana dalam hal ini yang berperan sebagai pembangkit ialah *Turbin Generator*. Kondisi operasional dari *boiler* ini memiliki kapasitas produksi maksimum uap panas sebesar 150 ton/jam<sup>[1]</sup>



### 2.4.1. Komponen-Komponen Utama pada *Boiler*

Berikut ini merupakan komponen-komponen utama yang ada pada *Boiler* 520 B 401 yaitu

#### a. *Burner*

*Burner* berfungsi mencampur bahan bakar dengan perbandingan tertentu, sehingga reaksi pembakaran dapat berjalan dengan baik dan bahan bakar yang terbakar dapat menghasilkan energi panas yang maksimal.<sup>[9]</sup>

#### b. *Drum Boiler*

*Drum boiler* berfungsi untuk menampung air yang akan diubah menjadi uap dengan menggunakan panas dari hasil reaksi pembakaran di dalam ruang pembakaran. Terdapat dua jenis *drum* di *boiler* yaitu :

- *Steam Drum*

*Steam drum* merupakan tempat menampung *steam* sekaligus memisahkan antara uap dan air. Di dalam *steam drum* ini terdapat *cyclone separator* berfungsi untuk memisahkan uap dari pengotor air umpan ketel dan *steam dryer* untuk mengeringkan *steam* hasil produksi.

- *Mud Drum*

*Mud drum* berfungsi untuk mengumpulkan air panas yang akan didistribusikan ke dalam *wall tube*. Terdapat pipa yang berfungsi untuk pembuangan berkala.

#### c. *Water Tube*

*Water tube* merupakan pipa-pipa yang dilewati air di dalam *boiler* digunakan sebagai tempat pemanasan air.

#### d. *Furnace*

*Furnace* adalah ruang tempat pembakaran. Dinding, atap, dan lantai ruang pembakaran terdiri dari *tube-tube* (*wall tube*)

#### e. *Combustion Chamber*

*Combustion chamber* berfungsi untuk tempat pembakaran *fuel oil* dan memindahkan panas ke dalam air yang berada di

sekelilingnya. Berbentuk silinder dan bergelombang letaknya horizontal.

f. *Superheater Tube*

*Superheater tube* berfungsi untuk memanaskan uap jenuh (*saturated steam*) menjadi uap lanjut (*superheated steam*).

g. *Forced Draft Fan* ( FDF )

*Forced Draft Fan* adalah alat pendorong udara untuk pembakaran pada ketel uap yang melalui lorong udara (*duct*) sebelum bercampur dengan bahan bakar.

h. *Man Hole* ( Lubang Laluan )

*Man hole* berfungsi sebagai tempat aktifitas pekerja saat melakukan perawatan dan perbaikan. Letak *man hole* berada di atas dan bagian belakang *drum boiler*. Setelah perawatan maka *man hole* akan ditutup kembali agar tidak ada kebocoran saat *boiler* beroperasi.

i. *Stack* ( Cerobong )

*Stack* berfungsi untuk membuang gas sisa pembakaran ke atmosfer setelah melewati *gas duct*.

## 2.4.2. Prinsip Kerja Boiler

Proses pembentukan uap pada *boiler* diawali dengan mengalirkan air umpan *boiler* (*Boiler Feed Water*) dari tangki penampungan air umpan ke *deaerator* menggunakan pompa *deaerator* dengan tekanan yang sesuai spesifikasi yang dibutuhkan.<sup>[8]</sup> Pada unit *deaerator* air umpan akan mengalami proses deaerasi, yaitu proses penghilangan kandungan gas-gas terlarut yang tidak dikehendaki / tidak boleh terikut ke dalam *boiler* terutama kandungan gas oksigen dan karbondioksida yang dapat menyebabkan *foaming* dan korosif, dengan sistem mengalirkan air melewati *tray-tray* pada unit *deaerator* yang kemudian dari arah samping dilakukan penyemprotan menggunakan media



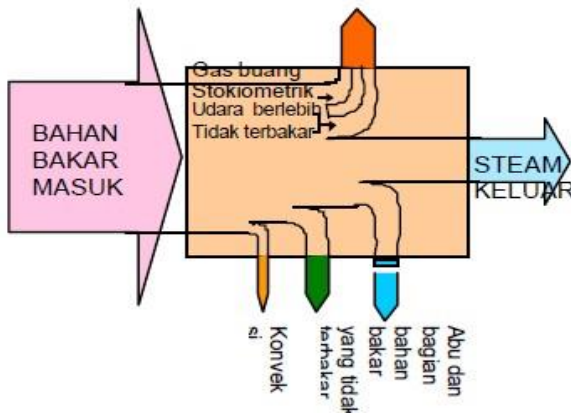
uap panas bertekanan rendah ( *Low Pressure Steam* ) sehingga akan terjadi proses pemisahan air dan gas-gas terlarut. Air yang telah terbebas dari kandungan oksigen akan ditampung dalam vesel penampung / akumulator, sedangkan oksigen dan gas-gas terikut lainnya akan dibuang ke atmosfer melalui *venting*.

Pada outlet *deaerator* juga dilakukan injeksi cairan kimia yaitu: *Hydrazine* yang berfungsi untuk menghilangkan kandungan oksigen yang masih terikut, *Amine* yang berfungsi sebagai pelapis / film untuk mencegah korosif, dan *Phospate* yang berfungsi mengontrol pH air. Selanjutnya air umpan akan dipompakan ke *boiler* menggunakan pompa *Boiler Feed Water* dengan tekanan yang sesuai spesifikasi pada *boiler* ke dalam *steam drum*. Kemudian dengan sirkulasi alami, air umpan akan turun menuju *mud drum* melalui *tube-tube down comer*.

Adanya radiasi panas dari proses pembakaran bahan bakar pada ruang bakar ( *combustion chamber* ), akan menyebabkan air umpan mengalami kenaikan termperatur hingga terjadi perubahan fasa, yang mengakibatkan air mengalami penurunan *density* dan akan mengalir ke atas melalui *tube-tube riser* menuju *steam drum*. Selanjutnya air yang telah berubah menjadi uap basah ( *wet steam* ), akan dialirkan menuju unit *superheater* untuk mendapatkan pemanasan lanjut agar terjadi kenaikan temperatur pada tekanan tetap, sehingga akan menghasilkan *superheated steam*. Unit *superheater* terdiri dari dua bagian, yaitu *primary superheater* dan *secondary superheater*, dimana diantara *primary* dan *secondary superheater* terdapat fasilitas injeksi *desuperheater water* yang berfungsi untuk mengatur temperatur steam yang keluar *boiler* agar sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.

#### **2.4.3. Efisiensi Boiler**

Efisiensi termis *boiler* adalah energi panas masuk yang digunakan secara efektif untuk menghasilkan *steam*.



**Gambar 2.15** Diagram neraca energi <sup>[13]</sup>

Neraca panas merupakan keseimbangan energi total yang masuk *boiler* terhadap yang meninggalkan *boiler* dalam bentuk yang berbeda. Gambar 2.14 berikut memberikan gambaran berbagai kehilangan yang terjadi untuk pembangkitan *steam*.

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini adalah dengan menggunakan metode langsung. Secara umum akan membahas analisa nilai kalor bahan bakar dan perhitungan efisiensi *boiler*.

Terdapat dua metode pengkajian efisiensi *boiler* :

a. Metode Langsung

Energi yang didapat dari fluida kerja (air dan *steam*) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar *boiler*. Metodologi Dikenal juga sebagai metode input-output' karena kenyataan bahwa metode ini hanya memerlukan keluaran/output (*steam*) dan panas masuk/input (bahan bakar) untuk evaluasi efisiensi. Efisiensi ini dapat dievaluasi dengan menggunakan rumus:

$$\text{Efisiensi boiler } (\eta) = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% \quad (2.4)$$

$$\text{Efisiensi boiler } (\eta) = \frac{Qx (hg - hf)}{q \times GCV} \times 100\% \quad (2.5)$$

dimana :

hg = Entalpi *steam* jenuh dalam kkal/kg *steam*

hf = Entalpi air umpan dalam kkal/kg air

Parameter yang dipantau untuk perhitungan efisiensi *boiler* dengan metode langsung adalah:

- Jumlah *steam* yang dihasilkan per jam (Q) dalam kg/jam
- Jumlah bahan bakar yang digunakan per jam (q) dalam kg/jam
- Tekanan kerja (dalam kg/cm<sup>2</sup>(g)) dan suhu lewat panas (°C), jika ada
- Suhu air umpan (°C)
- Jenis bahan bakar dan nilai panas kotor bahan bakar (GCV) dalam kkal/kg bahan bakar

Adapun keuntungan metode langsung yaitu :

- Pekerja pabrik dapat dengan cepat mengevaluasi efisiensi *boiler*.
- Memerlukan sedikit parameter untuk perhitungan
- Memerlukan sedikit instrumen untuk pemantauan
- Mudah membandingkan rasio penguapan dengan data *benchmark*

Kerugian metode langsung :

- Tidak memberikan petunjuk kepada operator tentang penyebab dari efisiensi sistem yang lebih rendah
- Tidak menghitung berbagai kehilangan yang berpengaruh pada berbagai tingkat efisiensi

#### b. Metode Tidak Langsung

Efisiensi merupakan perbedaan antar kehilangan dan energi masuk. Metodologi Standar acuan untuk Uji *Boiler* di tempat dengan menggunakan metode tidak langsung adalah *British Standard, BS 845:1987* dan *USA Standard ASME PTC-4-1 Power Test Code Steam Generating Units*.

Metode tidak langsung juga dikenal dengan metode kehilangan panas. Efisiensi dapat dihitung dengan mengurangi bagian kehilangan panas dari 100 sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi boiler (n)} = 100 - (\text{i} + \text{ii} + \text{iii} + \text{iv} + \text{v} + \text{vi} + \text{vii}) \quad (2.6)$$

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

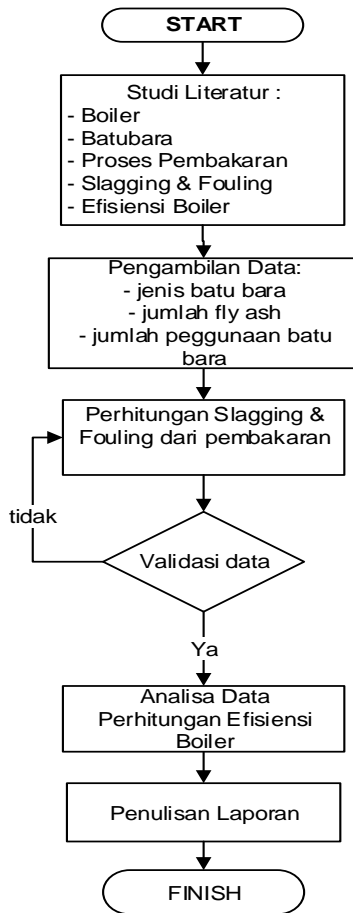
#### **3.1 Tahap Penelitian**

Pada bab ini membahas tentang alur penelitian analisa pembentukan *slagging* dan *fouling* pembakaran batubara pada *boiler* B 0201B pabrik 3 unit UBB di PT. Petrokimia Gresik. Dimana pada bab ini juga akan menjelaskan beberapa komponen komponen yang ada pada *boiler* B 0201B.

Dari tahapan penelitian seperti pada gambar 3.1 dapat diketahui mengenai langkah-langkah untuk menganalisa pembentukan *slagging* dan *fouling* yang terbentuk pada *boiler* B 0201B. Langkah awal untuk melakukan penelitian ini adalah melakukan studi literatur sebagai yang dimana akan digunakan sebagai bahan pertimbangan, dan sebagai literatur dasar untuk melakukan tahapan penelitian selanjutnya, yaitu meliputi pemahaman terhadap berbagai teori mengenai *boiler*, batubara, stkiometri proses pembakaran pada *boiler*, *slagging* dan *fouling* dan juga efisiensi dari *boiler*. Selanjutnya adalah melakukan pengambilan data dari jenis dan penggunaan batubara yang dipakai selama proses produksi perhari selama 1 bulan, mengumpulkan jumlah *fly ash* yang dihasilkan selama proses pembakaran.

Dari data tersebut kemudian dapat dilakukan proses selanjutnya yaitu melakukan perhitungan index *slagging* dan index *fouling* yang terbentuk dari pembakaran batubara yang tidak terbakar secara sempurna. Kemudian dicari stokiometri pembakaran sehingga didapatkan volume dari *slagging* dan *fouling*. Setelah diketahui volume *slagging* serta *fouling* dari hasil stokiometri, selanjutnya dilakukan validasi mengenai data yang didapatkan kemudian dari validasi data tersebut akan dapat dilakukan perhitungan nilai efisiensi dari *boiler*. Efisien dari *boiler* yang didapatkan akan dibuat grafik hubungan antara index *slagging* dan *fouling*, volumenya yang terbentuk, dengan hasil perhitungan dari efisiensi *boiler* pada proses *real* selama bulan

juli 2016 dan dianalisa. Kemudian melakukan penulisan laporan tugas akhir sampai dengan selesai.



**Gambar 3.1** diagram alur tugas akhir

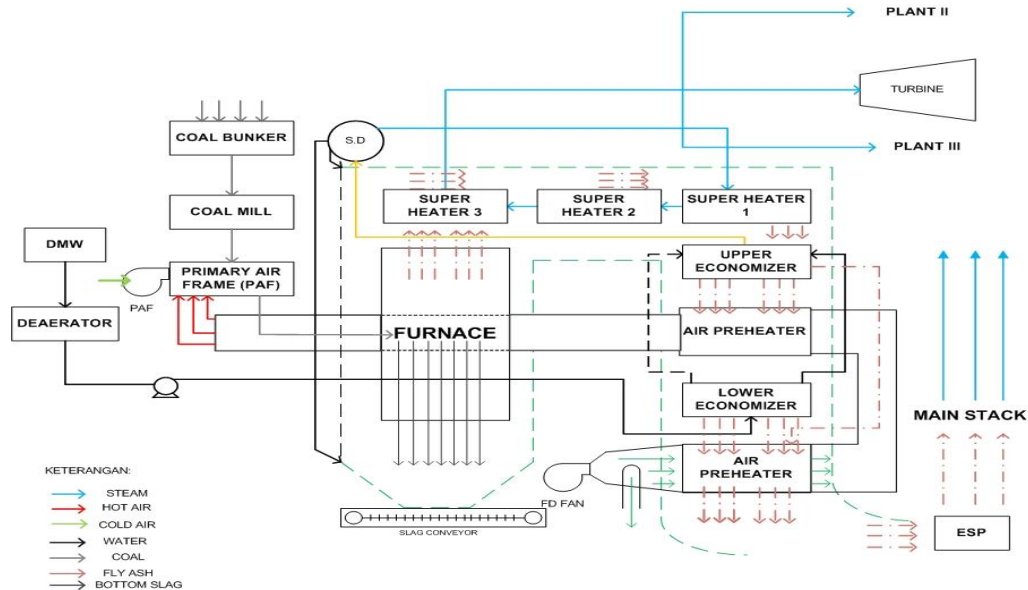
### 3.2 Identifikasi Spesifikasi *Boiler B 0201B*

Identifikasi alat adalah kumpulan spesifikasi-spesifikasi data-data teknik tentang suatu alat produksi yang berfungsi sebagai pedoman agar proses produksi berjalan baik, efektif, dan efisien. Berikut ini merupakan spesifikasi alat yang digunakan sebagai objek penelitian.

#### ***Boiler UBB B 0201B***

- Tipe : *Water Tube Boiler*
- Bahan bakar : Batubara
- *Economizer* : ada
- *Desuperheater* : ada
- Desain kapasitas : 150 ton/jam
- CGV batubara : 4100 kkal/kg
- Entalpi BFW (120 kg/cm<sup>2</sup>, 250°C): 225,57 kkal/kg
- Entalpi steam (521°C, 90.3 bar): 821,15 kkal/kg
- *Main steam* temperature : 540<sup>0</sup>C
- *Manufacture/Vendor* : *Tangshan Xinde Boiler*  
(China)
- Tahun Pembuatan : 2010

### 3.3 Diagram Blok Sistem pada *Boiler* B 0201B



### Gambar 3.2 Sistem Kerja UBB

DIAGRAM  
PROSES SISTEM  
PABRIK III  
UBB PETROKIMIA  
GRESIK



Dari diagram blok sistem akan dijelaskan mengenai proses pada *boiler* B 0201B dimana pada proses pembakaran yang terjadi di *boiler* menggunakan bahan bakar batubara. Proses awal adalah air *supply* dari *demin water tank* dialirkan menuju *deaerator*, kemudian dipompa menuju *lower economizer*. Di *lower economizer* air yang ada dalam pipa pipanya dipanaskan oleh *fly ash*. Setelah itu diteruskan menuju *upper economizer*, kemudian air tersebut diteruskan menuju *steam drum*.

Pada *steam drum* outputan dari *upper economizer* dipisahkan menurut massa jenisnya. Yang berupa uap akan di proses lebih lanjut ke *superheater* 1, disini uap tadi dipanaskan ulang dan di transfer menuju *superheater* 2 dan dipanaskan lagi sampai menjadi *steam* yang tidak mengandung air lagi. *Steam* hasil dari *superheater* 3 akan menjadi produk dari *boiler* yang akan di salurkan ke 3 bagian yaitu *supply* untuk plant II, plant III, dan masuk ke *turbine* yang dimana *steam* ini digunakan untuk memutar *turbine* sehingga menghasilkan tenaga listrik yang di butuhkan. Untuk air pada *steam drum* akan di buang oleh *blowdown*.

Untuk proses masuknya bahan bakar adalah batubara yang berasal dari tempat penyimpanan dibawa oleh *conveyor*, kemudian masuk ke *coal bunker*, kemudian dihaluskan oleh *coal mill* sampai mencapai standar besaran partikel batubara yang sesuai dengan standart PT. Petrokimia Gresik. Batubara yang telah dihancurkan dan menjadi partikel kecil di masukkan kedalam *furnace* dengan bantuan *primary air frame* (PAF) yang dimana PAF menyemprotkan batubara kedalam *furnace* dibantu oleh udara luar dan udara panas.

Batubara dibakar didalam *boiler* dan dari hasil pembakaran tersebut akan menghasilkan udara panas yang bercampur dengan *fly ash* serta *bottom slag*. Untuk *bottom slag* adalah sisa batubara yang tidak bisa ikut terbakar sempurna sehingga akan langsung di buat melewati *slag conveyor*. Untuk udara panas hasil pembakaran itu bercampur dengan *fly ash*. *Fly ash* ini lah yang menempel pada komponen komponen *boiler* dan lama kelamaan akan menjadi deposit. Dari deposit tersebut akan mempengaruhi pertukaran panas yang ada pada *boiler*. Sehingga membuat kinerja *boiler*

tidak maksimal dan mengakibatkan produksi *steam* yang tidak sesuai dengan yang diharapkan.

### 3.3 Index Slagging dan Fouling

Dari data operasional dari perusahaan untuk *boiler* B 0201B, didapatkan data batubara yang digunakan selama operasional bulan juli 2016. Data tersebut dapat digunakan untuk menganalisa potensi index *slagging* dan *fouling* yang terjadi selama bulan juli 2016. Berikut adalah merupakan perhitungan index *slagging* dan juga index *fouling* dengan menggunakan perbandingan index *base-acid* rasio dikalikan dengan senyawa yang berpengaruh pada pembentukannya. Dari komposisi batubara yang digunakan akan diketahui juga unsur senyawa dari batubara yang digunakan yaitu sebagai berikut:

Tabel 3.1 tabel komposisi unsur senyawa pada batubara

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
7,98	13,3	6,62	2,04	0,03	26,94	14,37	2,27

Dari data Tabel 3.1 dapat dihitung nilai dari *base acid* rasionya dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\text{base} - \text{acid rasio} = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2} \quad (3.1)$$

$$\text{base} - \text{acid rasio} = \frac{13,3 + 6,62 + 7,98 + 2,04 + 0,03}{26,94 + 14,37 + 2,27}$$

$$\text{base} - \text{acid rasio} = 0,69$$

#### 3.4.1 Index Slagging

Berdasar pada nilai *base acid rasio* yang telah diketahui maka dapat dihitung untuk index slagging secara mingguan dan harian dengan cara mengalikan hasil *base acid rasio*

dengan jumlah *sulfur* yang ada. Berikut adalah perhitungannya :

$$R_s = \frac{B}{A} \times \%S \quad (3.2)$$

$$R_s = \frac{29,97}{43,58} \times 0,27\%$$

$$R_s = 0,19$$

Ini adalah salah satu contoh perhitungan *dari index slagging*. Untuk hasil perhitungan perminggu dan perhariannya dapat dilihat pada lampiran.

### 3.4.2 Index Fouling

Berdasar pada nilai *base acid rasio* yang telah diketahui maka dapat dihitung untuk index *fouling* secara mingguan dan harian dengan cara mengalikan hasil *base acid rasio* dengan jumlah  $\text{Na}_2\text{O}$  yang ada. Berikut adalah perhitungannya :

$$R_f = \frac{B}{A} \times \% \text{Na}_2\text{O} \quad (3.3)$$

$$R_f = \frac{29,97}{43,58} \times 0,81\%$$

$$R_f = 0,56$$

Ini adalah salah satu contoh perhitungan dari index *fouling*. Untuk hasil perhitungan perminggu dan perhariannya dapat dilihat pada lampiran.

## 3.4 Efisiensi Boiler

Dari data proses yang didapatkan dari *boiler* PT. Petrokimia Gresik dapat dihitung untuk nilai efisiensi dari *boiler* B 0201B. Dari nilai tersebut dapat dianalisa tentang performansi *boiler* B0201B untuk bulan Juli 2016 dengan menggunakan perhitungan, efisiensi langsung yaitu :

$$\text{Efisiensi boiler } (\eta) = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% \quad (3.4)$$

$$\text{Efisiensi boiler } (\eta) = \frac{Qx(hg-hf)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$(\eta) = \frac{(1470x(816,46-66,62)+1,23x(333,19-66,62))}{393,2 \times 3867} \times 100\%$$

$$(\eta) = 72,515 \%$$

## **BAB IV**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

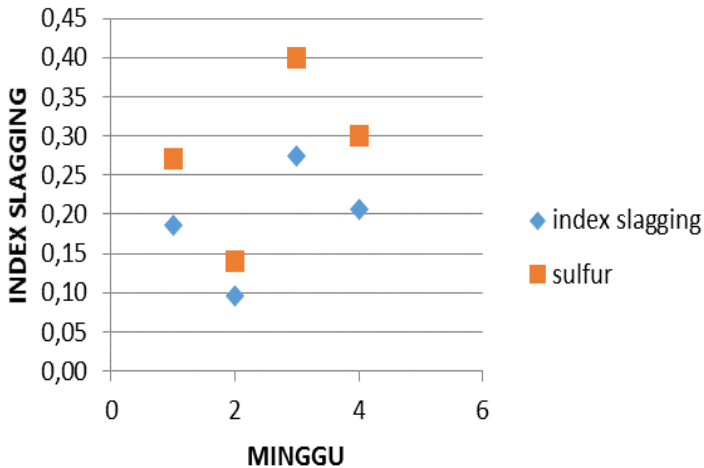
Bab ini dibahas mengenai analisis pembentukan *slagging* dan *fouling* pembakaran pada *boiler* B 0201B pabrik 3 UBB PT. Petrokimia Gresik. Untuk melihat langkah perhitungannya telah dijelaskan pada bab 3. Untuk langkah awal menghitung *slagging* dan *fouling* kemudian menghitung efisiensi dari *boiler*, seperti yang telah di jelaskan pada bab 3.

#### **4.1. Index Slagging dan Fouling Batubara**

Pada pabrik III PT. Petrokimia Gresik Unit UBB *Boilernya* menggunakan bahan bakar batubara. Batubara yang digunakan termasuk tipe *Bituminous* / Batubara dengan mutu yang tinggi. Bahan bakar batubara yang digunakan untuk *supply boiler* dalam 1 bulan ada 4 kali pengiriman. Dengan rata-rata GCV yang digunakan adalah 4200 Kkal/kg. Untuk menghitung nilai *base acid ratio* dari batubara yang digunakan, perlu adanya data komposisi unsur senyawa dari hasil pembakaran batubara tersebut. Untuk data tersebut ada pada Tabel 3.1 ada beberapa unsur senyawa yang terbentuk dari hasil pembakaran batubara.

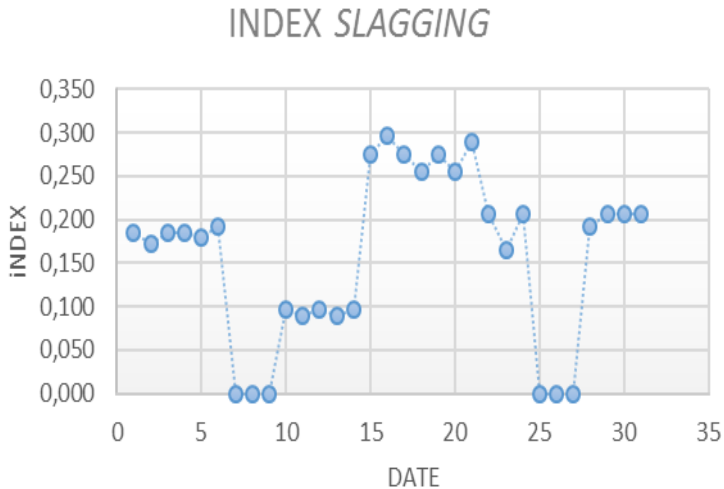
Dari data pada Tabel 3.1 dapat dihitung serta di ketahui hasil index dari *slagging* dan index *fouling* yang terjadi selama bulan juli 2016 perminggu. Cara mengetahui hasilnya dengan menggunakan perhitungan *base acid ratio* dihasilkan nilai  $R_{(B/A)}$  sebesar 0,69 berdasarkan Tabel *slagging and fouling propensity*  $R_{(B/A)}$  masuk dalam kategori *low-medium* ini dikarenakan nilainya  $0,4 < R_{(B/A)} < 0,7$ . Hasil index *slagging* dan *fouling* serta grafik pertumbuhan untuk setiap minggu dan hariannya ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut.

### Index Slagging



**Gambar 4.1** Grafik *index slagging* perminggu terhadap *Sulfur*

Dari Gambar 4.1 dijelaskan hubungan tentang hasil perhitungan *index slagging* dengan *sulfur* dari hasil pembakaran batubara. Dari grafik tersebut dapat dilihat dan dibuktikan secara teori bahwa semakin tinggi nilai *sulfur* dari batubara maka terbentuknya *slagging* pada *boiler* juga semakin tinggi. Tingginya tingkat *sulfur* yang dihasilkan akan berpengaruh juga dengan laju korosi yang ditimbulkan. Hal ini dikuatkan oleh perhitungan yang terjadi pada minggu ke 3. Pada minggu ke 3 hasil perhitungan *slagging* tinggi hal ini diikuti juga dengan tingginya nilai *sulfur* dari batubara yang digunakan.



**Gambar 4.2** Grafik *index slagging* perharian

Hal ini juga tampak pada perhitungan *index slagging* untuk harian pada Gambar 4.2 nilai *index slagging* paling tinggi pada minggu minggu ke 3, pada grafik tersebut juga terlihat jelas nilai fluktuatif terjadi pada *index slagging* harian yang terjadi pada *boiler*.

Dari data diatas didapatkan hasil bahwa *index slagging* mingguan paling tinggi ada pada batubara yang digunakan pada minggu ke 3. Untuk lebih tepatnya terlihat jelas pada Gambar 4.2 grafik *index slagging* harian potensi terendah ada pada tanggal 11 dan 13 Juli yaitu sebesar 0,09. Sedangkan pada tanggal 16 Juli potensi *slagging* tertinggi yaitu sebesar 0,30 , untuk hasil rata rata potensi terbentuknya *slagging* ( $R_s$ ) pada bulan Juli 2016 yaitu sebesar 0,19. Karena nilai ( $R_s$ ) < 2,0 maka bisa dikategorikan *index slagging*nya sedang.

Faktor yang mempengaruhi tinggi rendahnya potensi terbentuknya *slagging* pada proses di *boiler* dikarenakan oleh

tingkat *sulfur* yang terkandung pada batubara yang digunakan pada proses pembakaran. Selain itu juga pada bahan batubara yang digunakan ada saat minggu ketiga. Batubara yang digunakan memiliki GCV yang lebih rendah, sehingga akan berpengaruh pada hasil  $\text{Na}_2\text{O}$  serta *sulfur* yang terkandung didalamnya. Dapat dikatakan sedang karena potensi tumbuhnya *slagging* ini berhubungan dengan mutu batubara yang digunakan di perusahaan yaitu dengan menggunakan tipe *bituminous*. Setelah melakukan perhitungan index *slagging* kemudian dapat menghitung index *fouling* dengan menggunakan metode yang sama tetapi dengan perbedaan parameter senyawa yang membuat pengaruh terbentuknya *fouling*. Pada Gambar 4.3 adalah contoh *slagging* yang terbentuk di dalam *boiler* B 0201B dan Gambar 4.4 adalah gambar setelah dilakukan pembersihan.



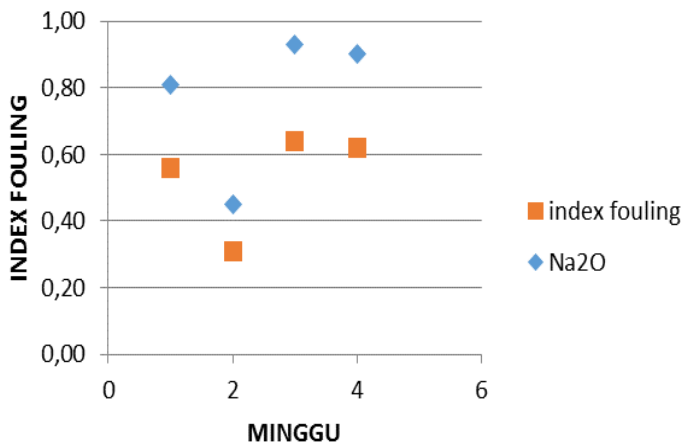
**Gambar 4.3** Penampakan *slagging* ada *boiler* B 0201B





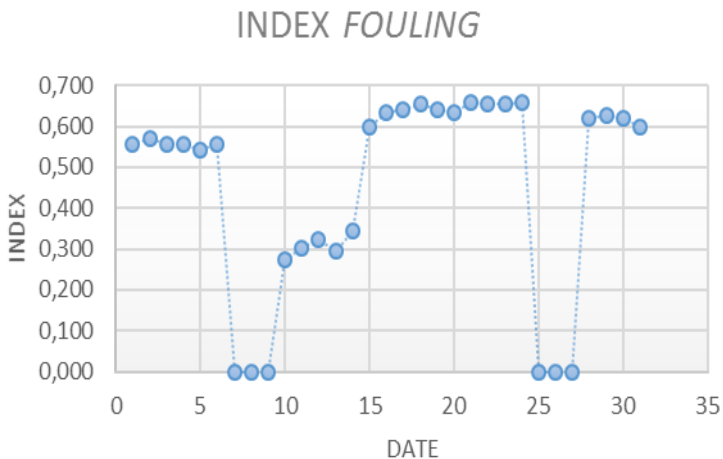
**Gambar 4.4** Penampakan setelah dilakukan *cleaning*

### ***Index Fouling***



**Gambar 4.5** Grafik *Index Fouling* Mingguan terhadap  $\text{Na}_2\text{O}$

Dari Gambar 4.5 menjelaskan mengenai hubungan hasil perhitungan index *fouling* dengan tingkat  $\text{Na}_2\text{O}$  dari hasil pembakaran batubara. Dari grafik tersebut dapat dilihat dan dibuktikan bahwa benar secara teori bahwa semakin tinggi tingkat  $\text{Na}_2\text{O}$  dari batubara maka akan mempengaruhi terbentuknya *fouling* pada *boiler*. Tingginya tingkat  $\text{Na}_2\text{O}$  yang dihasilkan akan berpengaruh juga dengan laju korosi yang ditimbulkan dan akan menghambat pertukaran panas yang terjadi di dalam proses *boiler*. Hal ini dikuatkan oleh perhitungan yang terjadi pada minggu ke 3 dan 4. Pada minggu ke 3 dan 4 hasil perhitungan *fouling* tinggi hal ini diikuti juga dengan tingginya tingkat  $\text{Na}_2\text{O}$  dari batubara yang digunakan.



**Gambar 4.6** Grafik *Index Fouling* Harian

Hal ini juga tampak pada perhitungan index *fouling* untuk harian pada Gambar 4.6 nilai index *fouling* paling tinggi pada minggu minggu ke 3, pada grafik tersebut juga terlihat jelas nilai fluktuatif terjadi pada index *fouling* harian yang terjadi pada *boiler*.

Dari data diatas didapatkan hasil bahwa index *fouling* paling tinggi ada pada batubara yang digunakan pada minggu ke 3. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4.6 diketahui potensi paling rendah terbentuknya *fouling* ada pada tanggal 10 Juli yaitu dengan potensi terbentuknya *fouling* sebesar 0,28, sedangkan pada tanggal 21 dan 24 Juli titik tertinggi potensi terbentuknya *fouling* yaitu sebesar 0,66, sedangkan hasil rata rata potensi terbentuknya *fouling* ( $R_f$ ) pada bulan Juli 2016 yaitu sebesar 0,53. Hal ini disebabkan karena pada bahan batubara yang digunakan ada saat minggu ketiga.

Batubara yang digunakan memiliki GCV yang lebih rendah, sehingga akan berpengaruh pada hasil  $\text{Na}_2\text{O}$  serta *sulfur* yang terkandung didalamnya. Karena nilai ( $R_f$ )  $< 1,2$  maka bisa dikategorikan index *fouling*nya juga sedang. Dapat dikatakan sedang karena potensi tumbuhnya *fouling* ini sangat berhubungan dengan mutu batubara yang digunakan diperusahaan yaitu dengan menggunakan tipe *bituminous*. Untuk membuktikan bahwa perhitungan index *slagging* dan index *fouling* yang menunjukkan bahwa potensinya membentuk *slagging* dan *fouling* sedang, akan dibuktikan dengan menggunakan stokiometri pembakaran batubara. Kemudian dari stokiometri tersebut dapat diketahui berapakah volume terjadinya *fouling* dan *slagging*. Pada Gambar 4.7 adalah contoh *fouling* yang terbentuk di dalam *boiler* B 0201B.



**Gambar 4.7** *Fouling* yang ada pada Air Preheater

Dalam penentuan pemakaian batubara pada PT. Petrokimia Gresik tidak hanya tertuju pada *outputan* dari hasil *steam* yang dihasilkan saja, melainkan harus memerhatikan nilai dari GCV dari batubara yang dipakai. Dari nilai GCV batubara yang digunakan tinggi maka akan berpengaruh pada kualitas kandungan dari  $\text{Na}_2\text{O}$  serta *sulfurnya*. Apabila bahan bakar batubara yang digunakan sudah memiliki nilai GCV yang tinggi maka akan berdampak pada kecil timbulnya *slagging* dan *fouling* yang terjadi pada *boiler* akibat dari *fly ash* yang menempel.

#### 4.2. Stokiometri Pembakaran batubara

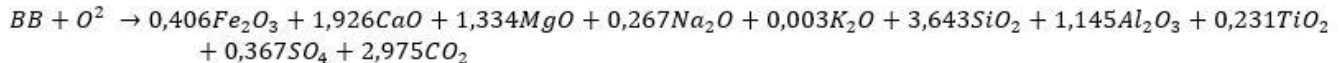
Stokiometri pembakaran batubara diperlukan untuk menunjukkan bahwa volume dari pembentuk *slagging* dan *fouling* dapat dihitung dengan menggunakan stokiometri pembakaran. Untuk membuat stokiometri pembakaran batubara diperlukan data mengenai unsur senyawa hasil dari pembakaran batubara di *boiler*. Ada beberapa persamaan yang dipakai untuk menyusun stokiometri pembakaran yaitu :

$$\text{gram} = \frac{\% \text{ Wt}}{\% \text{ total}} \times \text{massa total} \quad (4.1)$$

$$\text{mol} = \frac{\text{gram}}{\text{mr}} \quad (4.2)$$

$$\text{koef reaksi} = \frac{\text{mol reaksi}}{\text{mol Batubara}} \quad (4.3)$$

Berikut adalah stokiometri dari pembakaran batubara :



$$9,235 \cdot 10^6 \quad 9,235 \cdot 10^6 \quad \rightarrow \quad - \quad - \quad - \quad - \quad - \quad - \quad - \quad - \quad - \quad -$$

---


$$9,235 \cdot 10^6 \quad 9,235 \cdot 10^6$$

$$\rightarrow 3,748 \cdot 10^6 \quad 1,779 \cdot 10^7 \quad 1,232 \cdot 10^7 \quad 2,470 \cdot 10^6 \quad 2,388 \cdot 10^4 \quad 3,364 \cdot 10^7 \quad 1,057 \cdot 10^7 \quad 2,131 \cdot 10^6 \quad 3,391 \cdot 10^6 \quad 2,748 \cdot 10^7$$

Dari stokiometri yang telah dihitung menggunakan komposisi batubara sebanyak 7500 Ton yang dimana itu adalah jumlah konsumsi batubara yang digunakan untuk bahan bakar *boiler* B 0201B selama 1 bulan. Dari hasil stokiometri tersebut bisa didapatkan perhitungan nilai volume *slagging* dari senyawa  $\text{SO}_4$ , sedangkan untuk nilai volume dari *fouling* didapatkan dari senyawa  $\text{Na}_2\text{O}$ .

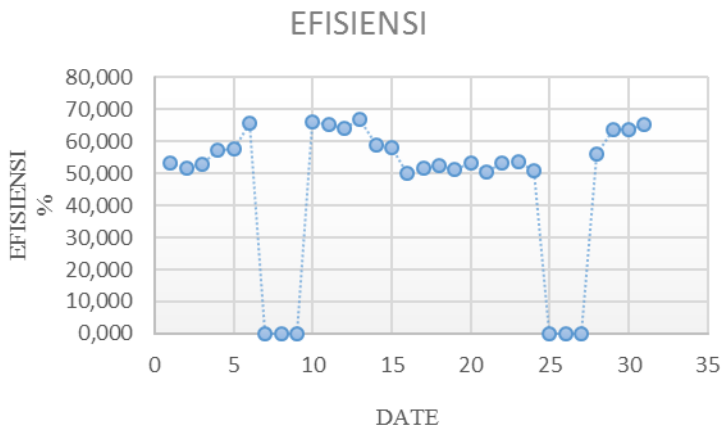
Untuk hasil perhitungan volume dari  $\text{Na}_2\text{O}$  yang dimana senyawa ini sangat berpengaruh pada terbentuknya *fouling* dari perhitungan didapatkan volumenya sebesar  $118,92 \text{ m}^3$  setara dengan 102,27 Ton atau 1,36% dari total batubara yang dibakar. Sedangkan untuk senyawa  $\text{SO}_4$  yang dimana senyawa ini sangat berpengaruh pada terbentuknya *slagging* pada *boiler*, dan didapatkan hasil volume sebesar  $253 \text{ m}^3$  setara dengan 217,58 Ton atau 2,90% dari total batubara yang dibakar.

Hasil perhitungan untuk index *slagging* dan index *fouling* yang masuk dalam kategori sedang dapat dibuktikan dengan hasil volume dari senyawa yang berperan sangat besar untuk membentuk *slagging* dan *fouling*. Hasil perhitungan jumlah massa dari *fouling* sebesar 1,36% masih dibawah massa *fly ash* saat desain yang dihasilkan dalam 1 bulan yaitu 9,60% sedangkan untuk *slagging* massa yang dihasilkan adalah 2,90% masih dibawah massa *bottom slagging* dari desain yaitu 5,42%. Jadi dapat disimpulkan bahwa *slagging* dan *fouling* yang di hasilkan masih dalam ambang batas sedang.

#### 4.3. Efisiensi Boiler

Dengan berdasar data proses operasi *boiler* B 0201B dapat dilakukan perhitungan efisiensi *boiler* selama bulan Juli 2016. Perhitungan efisiensi ada *boiler* B 0201B perlu dilakukan untuk mengetahui, performansi dari plant *boiler* pada P.T Petrokimia Gresik, pabrik 3 UBB. Perhitungan efisiensi ini menggunakan perhitungan efisiensi secara langsung atau *direct*. Dengan menggunakan persamaan yang ada pada bab 3 persamaan (3.4).

Data yang telah dikumpulkan selama 1 bulan, diambil data perjam dan kemudian dirata-rata. Dari data rata-rata perhari akan didapatkan nilai efisiensi dari *boiler* B 0201B. Data tersebut telah dibuat grafik efisiensi dari *boiler* selama 1 bulan. Hal itu tampak pada Gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Grafik efisiensi *boiler* B 0201B Bulan Juli 2016

Dari hasil perhitungan analisa efisiensi kinerja dari *boiler* B 0201B di PT. Petrokimia Gresik didapatkan hasil efisiensi paling tinggi pada tanggal 13 Juli 2016 didapatkan efisiensi sebesar 66,844%. Untuk nilai perhitungan efisiensi paling rendah didapatkan nilai 50,020% pada tanggal 16 Juli 2016. Untuk rata rata nilai efisiensi kerja dari *boiler* B 0201B didapatkan hasil sebesar 57,294%.

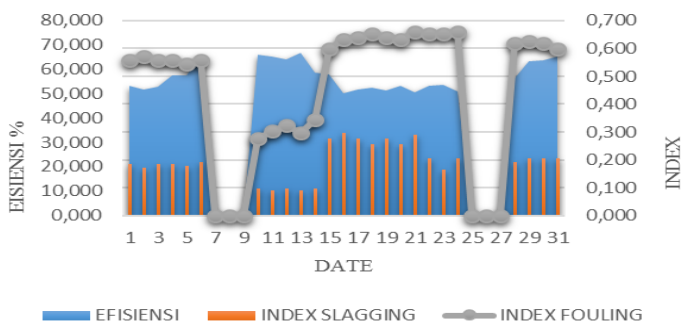
Pada saat pabrik 3 Unit Utilitas Batubara ini didirikan dan dioperasikan pertama kali sampai saat ini dapat dihitung bahwa, *boiler* B 0201B ini telah beroperasi selama 6 tahun. Selama 6 tahun beroperasi *Boiler* ini telah mengalami *Overhaul* beberapa kali. Pada saat komisioning *boiler* ini memiliki efisiensi sebesar 85,51%. Setelah 6 tahun beroperasi *boiler* ini mengalami penurunan efisiensi kerja sebesar 18,666%. Ada banyak faktor yang dapat mempengaruhi penurunan efisiensi dari *boiler* ini. Adapun kemungkinan faktor yang mempengaruhi penurunan

efisiensi kerja *boiler* B 0201B adalah kualitas bahan bakar batubara yang digunakan, *maintanance* pada *plant* yang kurang, adanya *slagging* dan *fouling* yang mempengaruhi terhadap perpindahan panas yang terjadi selama proses, adanya kebocoran beberapa komponen yang tidak terdeteksi.

#### 4.4. Pengaruh *index slagging* dan *index fouling* pada efisiensi *boiler*

Pada proses *boiler* yang menggunakan bahan bakar batubara akan menghasilkan sisa pembakaran yaitu berupa *fly ash* dan juga *bottom slag*. Untuk *fly ash* hasil sisa pembakaran batubara pada *boiler* lama kelamaan akan berubah menjadi deposit. Deposit ini sering disebut dengan *slagging* dan *fouling*. *Slagging* dan *fouling* adalah jenis deposit yang akan mengganggu proses perpindahan panas pada *boiler*.

Dari hal ini maka dapat disimpulkan bahwa pengaruh *slagging* dan *fouling* adalah selain berpengaruh pada perpindahan panas yang terjadi juga akan mempengaruhi terhadap efisiensi pada *boiler*. Hal ini dapat dibuktikan dengan melihat Gambar 4.9 yang dimana akan membandingkan hasil perhitungan efisiensi *boiler* B 0201B dengan potensi terbentuknya *slagging* dan juga *fouling* yang terjadi selama bulan Juli 2016.



**Gambar 4.9** Grafik perbandingan efisiensi *boiler* B 0201B dengan index *slagging* & *fouling* bulan Juli 2016

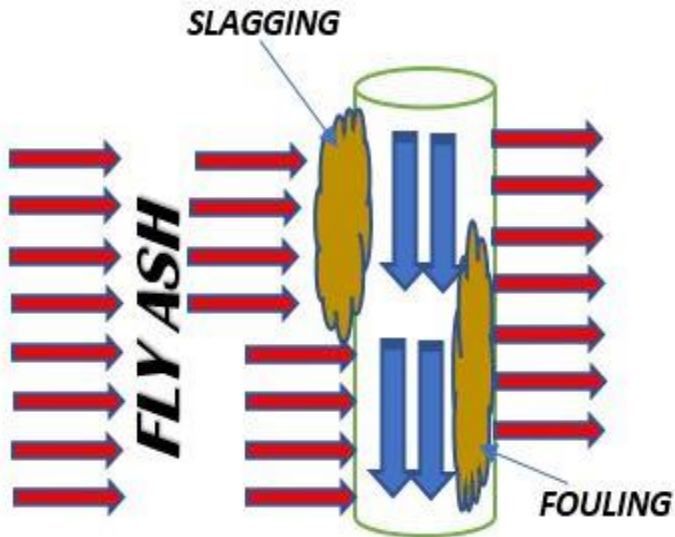


Berdasarkan Gambar 4.6 terlihat sangat jelas bahwa pengaruh index dari *slagging* dan juga *fouling* akan berpengaruh sangat besar bagi efisiensi *boiler*. Apabila *slagging* dan *fouling* menurun maka efisiensi dari *boiler* akan meningkat. Hal ini diperkuat pada saat tanggal 16 Juli efisiensi dari *boiler* ada pada posisi paling rendah ini dikarenakan index *slagging* yang dikarenakan oleh *sulfur* sangat tinggi pada hari itu, maka mempengaruhi juga kepada efisiensi dari *boiler* pada hari itu menurun. Sedangkan untuk efisiensi yang tertinggi ada pada minggu ke 4, hal ini juga berakibat karena pada minggu ke 2 dan minggu ke-4 batubara yang digunakan memiliki GCV yang tinggi serta juga kandungan *sulfur* dan  $\text{Na}_2\text{O}$  rendah. Sehingga potensi untuk pembentukan *slagging* dan *fouling* juga rendah, dan efisiensi menjadi tinggi.

Mekanisme dari perpindahan panas yang terjadi pada *boiler* yaitu konveksi – konduksi – konveksi. Untuk proses perpindahan panasnya pada boiler yaitu *fly ash* menyebar pada komponen *boiler* dan merambatkan panas melalui dinding komponen, kemudian perambatan panas tersebut masuk kedalam *tube* dari komponen *boiler*. Hal ini dapat menjadi bukti dari persamaan dari perpindahan panas konduksi yaitu  $Q = -kA \left( \frac{\Delta T}{\Delta x} \right)$ , dimana laju perpindahan panas berhubungan dengan tebal dari bahan dan perubahan dari *temperature* dari *boiler*. *Slagging* dan *fouling* merupakan faktor yang mempengaruhi perpindahan panas pada fenomena konduksi yang terjadi di *boiler*, apabila *slagging* dan *fouling* menempel atau terbentuk pada permukaan komponen *boiler* maka akan mengganggu sistem karena dapat mempengaruhi nilai resistifitas pada *boiler*.

Dikarenakan *slagging* atau *fouling* yang menempel akan menambahkan ketebalan dari material yang seharusnya ada pada *boiler*. Dari penambahan ketebalan tersebut akan berpengaruh ada kecepatan rambat dari perpindahan panas yang terjadi dan juga mempengaruhi dari panas yang terserap sehingga akan berpengaruh juga pada *pressure drop* yang akan terjadi akibat *slagging* dan *fouling* yang menempel pada dinding dari komponen *boiler* sehingga berpengaruh pada efisiensi *boiler* yang

akan menurun. Proses tersebut akan tampak pada Gambar 4.10 tentang proses perpindahan panas secara konduksi pada *boiler*.



**Gambar 4.10** Proses perpindahan panas pada *boiler* secara konduksi saat terjadi *slagging* dan *fouling*

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Analisa data serta pembahasan mengenai pembentukan *slagging* dan *fouling* pembakaran pada *boiler* B 0201B pabrik 3 UBB PT. Petrokimia Gresik telah dilakukan pada BAB sebelumnya, sehingga dapat ditarik kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Telah dilakukan perhitungan index *slagging* dan index *fouling* pada *boiler* B 0201B ada bulan Juli 2016. Didapatkan hasil yaitu untuk index *slagging* rata-rata potensi terjadinya *slagging* yaitu rendah dengan index sebesar 0,19. Sedangkan untuk potensi terjadinya *fouling* untuk bulan Juli didapatkan hasil potensi terjadinya sedang dengan index sebesar 0,53.
- b. Dari proses pembakaran pada *boiler* B 0201B didapatkan stokiometri pembakaran batubara secara lengkap, dan juga dari hasil stokiometri tersebut dapat ditarik kesimpulan bahan massa *slagging* yang terbentuk selama pembakaran batubara bulan Juli 2016 sebanyak 217,58 Ton setara 2,90%, dan *foulingnya* sebanyak 102,27 Ton setara 1,36% dengan jumlah batubara yang digunakan sebanyak 7500 Ton ini masih dalam batas normal dari yang ditetapkan untuk *fly ash* sebesar 9,60% dan untuk *bottom slag* sebesar 5,42%.
- c. Pengaruh dari terbentuknya *slagging* dan juga *fouling* pada efisiensi pada *boiler* juga sangat penting hal ini dapat dibuktikan dengan hasil analisa efisiensi *boiler* B 0201B didapatkan rata-rata performansi atau efisiensi dari *boiler* ini pada bulan Juli 2016 sebesar 57,294%. Ini mengalami penurunan efisiensi jika dibandingkan pada saat komisioning pada tahun 2010 dengan efisiensi 85,51%, penurunan yang terjadi sebesar 18,666%. Penurunan efisiensi ini terjadi setelah 6 tahun *boiler* tersebut beroperasi.

## 5.2 Saran

Berdasar perhitungan diatas, terjadi penurunan efisiensi kerja pada *boiler*, ada saat menggunakan bahan bakar batubara dengan index nilai *sulfur* serta nilai  $\text{Na}_2\text{O}$  yang terkandung didalam batubara juga tinggi. Maka dari itu disarankan untuk memilih batubara yang digunakan dengan GCV diatas 5300 dan juga nilai *sulfur* serta  $\text{Na}_2\text{O}$ nya rendah. Serta dilakukan penjadwalan rutin untuk dilakukan cleaning untuk *slagging* dan *fouling* pada *boiler*.

## Daftar Pustaka

- [1] Chengel, Y.A.(1997). *Introduction to Thermodynamics and Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill
- [2] Djokostyardjo, M. J.(1999). *Ketel Uap*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- [3] Incropera, F. P.(1996). *Fundamental of Heat and Mass Transfer, 4th Edition*. Canada: John Willey and Sons Inc.
- [4] PETROKIMIA.(2010). *Operating Manual General : BOILER*. Gresik: PETROKIMIA GRESIK.
- [5] D. Zhang. (2013). *Ash fouling, deposition and slagging in ultra -supercritical coal power plants*. Australia :University of Science and Technology Liaoning, China and The University of Western Australia.
- [6] Prayudi Teguh, dkk. (2006). *Analisis Perhitungan Efisiensi Boiler Pada Industri Tepung Terigu*. Teknik Lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi Jakarta.
- [7] J. B. Kitto and S. Stultz,(2006). *Steam its generation and use, 41st ed*. Ohio: The Babcock & Wilcox Company.
- [8] Spliethoff, H.(2000). *Characterization of Slagging and Fouling in Biomass Combustion Bioslag*. Energy Technology TU Delft.

- [9] Untoro.(2016).*Upaya Peningkatan Efisiensi Kerja Boiler 520 B 401 di PT. Pertamina RU IV Cilacap Dengan Menggunakan Soot Blower*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [10] Wahyuno, dkk.(2014).*Fouling dan Pengaruhnya Pada Final Secondary Superheater PLTU Tanjung Jati B unit 2* . Semarang. Politeknik Negeri Semarang.
- [11] Amand L, E, and Leckner B.(2001).*Cocombustion of Sewage Sludge with Wood/Coal in a Circulating Fluidized Bed Boiler-A Study of Gaseous Emissions*. Sweden. Department of Energy Conversion Chalmers University of Technology.
- [12] Gul Akar, and Arslan V. (2012).*Characterization of ash deposits from the boiler of Yneikoy coal-fired power plant, Turkey*. Turkey. Department of Mining Engineering Dokuz Eylul University.
- [13] Zhang,L and Girolamo,A,D .(2014). *Inhibition of lignite ash slagging and fouling upon the use of a silica-based additive in an industrial pulverised coal-fired boiler.Part 1. Changes on the properties of ash deposits along the furnace*. Australia. Department of Chemical Engineering, Monash University.
- [14] Awad, M. M. (2011). *Fouling of heat transfer surfaces*. *Chemical Engineering & Technology*, 10(1), 113–125.
- [15] Wu Xiaojiang. (2014). *Inhibition of lignite ash slagging and fouling upon the use of a silica-based*

*additive in an industrial pulverised coal-fired boiler.*  
Department of Chemical Engineering, Monash  
University, Clayton, Victoria 3800, Australia .

- [16] Hatt, Roderick M.,. (1990). *Influence of Coal Quality and Boiler Operating Conditions on Slagging of Utility Boilers.* Journal of Coal Quality.

## LAMPIRAN 1

### DATA *FOULING* MINGGUAN

Minggu	Rf
1	0,56
2	0,31
3	0,64
4	0,62
Rata rata	0,53

### DATA *SLAGGING* HARIAN

Minggu	Rs
1	0,19
2	0,10
3	0,28
4	0,21
rata rata	0,19



**DATA SULFUR MINGGUAN**

PER MINGGU	
TOTAL SULFUR	
% Wt	
AR	ADB
0,2	0,27
0,1	0,14
0,31	0,4
0,26	0,3

**DATA Na<sub>2</sub>O MINGGUAN**

Na <sub>2</sub> O
% Wt
0,81
0,45
0,93
0,9

## LAMPIRAN 2

### DATA *FOULING* HARIAN

harian	Rf
1	0,56
2	0,57
3	0,56
4	0,56
5	0,54
6	0,56
7	0,00
8	0,00
9	0,00
10	0,28
11	0,30
12	0,32
13	0,30
14	0,34
15	0,60
16	0,63
17	0,64
18	0,65
19	0,64
20	0,63
21	0,66
22	0,65
23	0,65
24	0,66
25	0,00
26	0,00
27	0,00
28	0,62
29	0,63
30	0,62
31	0,60

## DATA SLAGGING HARIAN

HARI	Rs
1	0,19
2	0,17
3	0,19
4	0,19
5	0,18
6	0,19
7	0
8	0
9	0
10	0,10
11	0,09
12	0,10
13	0,09
14	0,10
15	0,28
16	0,30
17	0,28
18	0,25
19	0,28
20	0,25
21	0,29
22	0,21
23	0,17
24	0,21
25	0
26	0
27	0
28	0,19
29	0,21
30	0,21
31	0,21
rata-rata	0,16

### LAMPIRAN 3

#### DATA BATUBARA

MINGGU	TM		IM		AC		VM		FC		S		Na2O	GCV	
	% Wt		% Wt			% Wt	% Wt		% Wt		% Wt			Kkal/kg	
	AR	ADB	AR	ADB	AR	ADB	AR	ADB	AR	ADB	AR	ADB		AR	ADB
1	39,6	0	0	17,9	3,5	4,7	29,1	39,6	27,8	37,8	0,2	0,27	0,81	3867	5257
2	37,4	0	0	14.5	2,65	3,62	31,16	42,53	28,84	39,35	0,1	0,14	0,45	3971	5419
3	34,4	0	0	15,7	1,2	1,5	35,1	45,1	29,3	38,3	0,3	0,4	0,93	4390	5641
4	33,8	0	0	22,6	3	3,5	34,2	40	29	33,9	0,3	0,3	0,9	4305	5033

**Dimana,**

**TM** = *TOTAL MOISTURE*

**IM** = *INHERENT MOISTURE*

**AC** = *ASH CONTENT*

**VM** = *VOLATILE MATTER*

**FC** = *FIXED CARBON*

**S** = *SULFUR*

**GCV** = *GROSS CALORI VALUE*

**AR** = *As Received*

**ADB** = *Air Dried*

## LAMPIRAN 4

### DATA EFISIENSI BOILER HARIAN

Date	Time	Boiler Feed Water			Product Steam				Blowdown		Coal		
		P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
01/07/2016	00.00.00	133,583	51	53,705	86,676	509	54	820,508	1,081	333,19	6,4	8,4	5257
01/07/2016	01.00.00	133,583	51	53,705	83,617	513	52	803,299	1,041	333,19	6,4	8,4	5257
01/07/2016	02.00.00	132,564	51	53,681	84,637	513	52	803,538	1,041	333,19	5,6	9,4	5257
01/07/2016	03.00.00	132,564	51	53,681	81,578	515	52	803,299	1,041	333,19	5,6	9,4	5257
01/07/2016	04.00.00	133,583	51	53,705	83,617	515	50	812,859	1,001	333,19	5,7	9,3	5257
01/07/2016	05.00.00	133,583	51	53,705	81,578	485	50	813,098	1,001	333,19	5,7	9,3	5257
01/07/2016	06.00.00	128,485	51	53,657	80,558	485	51	821,703	1,021	333,19	5,3	9,4	5257
01/07/2016	07.00.00	128,485	51	53,657	81,578	485	51	803,299	1,021	333,19	5,3	9,4	5257
01/07/2016	08.00.00	123,386	51	52,605	83,617	502	52	812,859	1,041	333,19	6	8,3	5257
01/07/2016	09.00.00	123,386	50	52,605	82,597	502	52	813,098	1,041	333,19	6	8,3	5257
01/07/2016	10.00.00	123,386	50	51,506	81,578	516	62	821,703	1,241	333,19	7	9,2	5257
01/07/2016	11.00.00	123,386	49	51,506	85,656	516	62	820,508	1,241	333,19	7	9,2	5257
01/07/2016	12.00.00	123,386	49	52,510	80,558	511	62	819,074	1,241	333,19	7,8	8,8	5257
01/07/2016	13.00.00	123,386	50	52,510	82,597	511	62	818,357	1,241	333,19	7,8	8,8	5257
01/07/2016	14.00.00	123,386	50	52,510	81,578	503	62	821,942	1,241	333,19	8	9,1	5257
01/07/2016	15.00.00	123,386	50	52,510	82,597	503	62	821,942	1,241	333,19	8	9,1	5257
01/07/2016	16.00.00	120,327	50	64,364	82,597	517	72	821,703	1,441	333,19	8,5	9,3	5257
01/07/2016	17.00.00	120,327	62	64,364	81,578	517	72	821,703	1,441	333,19	8,5	9,3	5257
01/07/2016	18.00.00	120,327	62	64,364	82,597	517	72	819,313	1,441	333,19	8,9	9,3	5257
01/07/2016	19.00.00	120,327	62	64,364	82,597	517	72	819,313	1,441	333,19	8,9	9,3	5257
01/07/2016	20.00.00	130,524	62	123,518	83,617	517	72	821,703	1,441	333,19	8,9	9,2	5257
01/07/2016	21.00.00	130,524	62	123,518	83,617	517	72	821,703	1,441	333,19	8,9	9,2	5257
01/07/2016	22.00.00	120,327	62	123,351	83,617	513	75	819,313	1,501	333,19	9	9,8	5257
01/07/2016	23.00.00	120,327	62	123,351	83,617	513	75	819,313	1,501	333,19	9	9,8	5257

Date	Time	Boiler Feed Water				Product Steam				Blowdown		Coal		
		F	P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		T/h	kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
02/07/2016	00.00.00	65	120,327	123	125,382	83,617	507	67	813,774	1,341	333,19	8,2	8,8	5257
02/07/2016	01.00.00	65	121,347	124	126,386	83,617	500	67	809,573	1,341	333,19	8,2	8,8	5257
02/07/2016	02.00.00	60	121,347	124	126,386	81,578	486	66	801,106	1,321	333,19	8,3	9,5	5257
02/07/2016	03.00.00	60	120,327	124	126,386	81,578	490	66	803,535	1,321	333,19	8,3	9,5	5257
02/07/2016	04.00.00	63	120,327	124	126,386	81,578	496	67	807,163	1,341	333,19	7,9	9,1	5257
02/07/2016	05.00.00	63	120,327	124	126,386	81,578	494	67	805,955	1,341	333,19	7,9	9,1	5257
02/07/2016	06.00.00	64	120,327	124	126,386	81,578	493	66	805,350	1,321	333,19	8,5	8,8	5257
02/07/2016	07.00.00	64	120,327	124	126,386	81,578	500	65	809,573	1,301	333,19	8,5	8,8	5257
02/07/2016	08.00.00	63	113,189	124	126,386	82,597	512	65	816,765	1,301	333,19	7,8	9,6	5257
02/07/2016	09.00.00	63	115,228	124	126,386	82,597	504	66	811,976	1,321	333,19	7,8	9,6	5257
02/07/2016	10.00.00	72	117,268	124	126,386	85,656	506	70	813,175	1,401	333,19	7,3	9,6	5257
02/07/2016	11.00.00	72	119,307	125	127,390	85,656	506	70	813,175	1,401	333,19	7,3	9,6	5257
02/07/2016	12.00.00	63	120,327	125	127,390	82,597	512	69	816,765	1,381	333,19	7,1	9,6	5257
02/07/2016	13.00.00	63	120,327	124	126,386	82,597	510	69	815,571	1,381	333,19	7,1	9,6	5257
02/07/2016	14.00.00	68	119,307	124	126,386	82,597	506	69	813,175	1,381	333,19	8,1	8,8	5257
02/07/2016	15.00.00	68	120,327	124	126,386	82,597	508	69	814,374	1,381	333,19	8,1	8,8	5257
02/07/2016	16.00.00	57	124,406	124	126,386	81,578	512	69	816,765	1,381	333,19	9,2	9,6	5257
02/07/2016	17.00.00	71	124,406	124	126,386	81,578	506	69	813,175	1,381	333,19	9,2	9,6	5257
02/07/2016	18.00.00	65	108,090	124	126,386	81,578	500	74	809,573	1,481	333,19	8,9	9,1	5257
02/07/2016	19.00.00	65	120,327	124	126,386	81,578	502	74	810,777	1,481	333,19	8,9	9,1	5257
02/07/2016	20.00.00	65	120,327	124	126,386	82,597	500	70	809,573	1,401	333,19	8,8	9,2	5257
02/07/2016	21.00.00	65	119,307	124	126,386	82,597	505	70	812,576	1,401	333,19	8,8	9,2	5257
02/07/2016	22.00.00	65	118,288	124	126,386	81,578	508	69	814,391	1,381	333,19	7,9	7,9	5257
02/07/2016	23.00.00	65	119,307	124	126,386	81,578	502	69	810,777	1,381	333,19	7,9	7,9	5257

Date	Time	Boiler Feed Water			Product Steam				Blowdown		Coal		
		P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
03/07/2016	00.00.00	112,169	124	127,223	83,617	504	70	814,054	1,401	333,19	8	9,7	5257
03/07/2016	01.00.00	112,169	124	127,223	83,617	504	70	814,054	1,401	333,19	8	9,7	5257
03/07/2016	02.00.00	111,149	124	126,243	81,578	505	74	815,249	1,481	333,19	8,1	9,4	5257
03/07/2016	03.00.00	111,149	124	126,243	81,578	505	74	815,249	1,481	333,19	8,1	9,4	5257
03/07/2016	04.00.00	110,130	125	126,219	81,578	500	74	812,142	1,481	333,19	8,3	8,8	5257
03/07/2016	05.00.00	110,130	125	126,219	81,578	500	74	812,142	1,481	333,19	8,3	9,7	5257
03/07/2016	06.00.00	112,169	124	126,267	81,578	492	69	807,362	1,381	333,19	7,7	9,7	5257
03/07/2016	07.00.00	112,169	124	126,243	81,578	492	69	807,362	1,381	333,19	7,7	9,2	5257
03/07/2016	08.00.00	111,149	124	126,219	82,597	503	72	813,815	1,441	333,19	8,2	9,2	5257
03/07/2016	09.00.00	111,149	124	126,219	82,597	503	72	813,815	1,441	333,19	8,2	9,4	5257
03/07/2016	10.00.00	113,189	124	126,267	85,656	500	70	810,947	1,401	333,19	8,6	9,4	5257
03/07/2016	11.00.00	113,189	124	126,267	85,656	500	70	810,947	1,401	333,19	8,6	9,4	5257
03/07/2016	12.00.00	113,189	124	126,267	82,597	504	70	814,293	1,401	333,19	8,6	9,4	5257
03/07/2016	13.00.00	113,189	124	126,267	82,597	504	70	814,293	1,401	333,19	8,6	9,4	5257
03/07/2016	14.00.00	119,307	124	126,362	82,597	509	70	817,162	1,401	333,19	8,1	9,6	5257
03/07/2016	15.00.00	119,307	124	126,362	82,597	508	70	816,684	1,401	333,19	8,1	9,6	5257
03/07/2016	16.00.00	119,307	124	126,362	81,578	501	69	812,859	1,381	333,19	8,3	9,4	5257
03/07/2016	17.00.00	119,307	124	126,362	81,578	501	69	812,859	1,381	333,19	8,3	9,4	5257
03/07/2016	18.00.00	119,307	124	126,386	81,578	502	69	813,337	1,381	333,19	7,8	9,4	5257
03/07/2016	19.00.00	119,307	124	126,386	81,578	502	69	813,337	1,381	333,19	7,8	9,4	5257
03/07/2016	20.00.00	119,307	124	126,362	82,597	507	70	815,966	1,401	333,19	7,9	9,3	5257
03/07/2016	21.00.00	119,307	124	126,362	82,597	507	70	815,966	1,401	333,19	7,9	9,3	5257
03/07/2016	22.00.00	120,327	124	126,386	81,578	506	69	815,727	1,381	333,19	7,9	8,9	5257
03/07/2016	23.00.00	120,327	124	126,386	81,578	506	69	815,727	1,381	333,19	7,9	8,9	5257

Date	Time	Boiler Feed Water			Product Steam				Blowdown		Coal		
		P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
04/07/2016	00.00.00	112,169	124	127,223	83,617	504	72	814,054	1,441	333,19	7	8,9	5257
04/07/2016	01.00.00	112,169	124	127,223	83,617	504	72	814,054	1,441	333,19	7	8,9	5257
04/07/2016	02.00.00	111,149	124	126,243	81,578	505	71	815,249	1,421	333,19	7,3	9,7	5257
04/07/2016	03.00.00	111,149	124	126,243	81,578	505	71	815,249	1,421	333,19	7,3	9,7	5257
04/07/2016	04.00.00	110,130	125	126,219	81,578	500	70	812,142	1,401	333,19	7,6	9,2	5257
04/07/2016	05.00.00	110,130	125	126,219	81,578	500	70	812,142	1,401	333,19	7,6	9,2	5257
04/07/2016	06.00.00	112,169	124	126,267	81,578	492	74	807,362	1,481	333,19	7,8	8,9	5257
04/07/2016	07.00.00	112,169	124	126,243	81,578	492	74	807,362	1,481	333,19	7,8	8,9	5257
04/07/2016	08.00.00	111,149	124	126,219	82,597	503	74	813,815	1,481	333,19	7,8	8,7	5257
04/07/2016	09.00.00	111,149	124	126,219	82,597	503	74	813,815	1,481	333,19	7,8	8,7	5257
04/07/2016	10.00.00	113,189	124	126,267	85,656	500	74	810,947	1,481	333,19	7,9	9,2	5257
04/07/2016	11.00.00	113,189	124	126,267	85,656	500	74	810,947	1,481	333,19	7,9	9,2	5257
04/07/2016	12.00.00	113,189	124	126,267	82,597	504	71	814,293	1,421	333,19	7,7	8,7	5257
04/07/2016	13.00.00	113,189	124	126,267	82,597	504	71	814,293	1,421	333,19	7,7	8,7	5257
04/07/2016	14.00.00	119,307	124	126,362	82,597	509	70	817,162	1,401	333,19	8,2	8,7	5257
04/07/2016	15.00.00	119,307	124	126,362	82,597	508	70	816,684	1,401	333,19	8,2	8,7	5257
04/07/2016	16.00.00	119,307	124	126,362	81,578	501	71	812,859	1,421	333,19	7,4	9,2	5257
04/07/2016	17.00.00	119,307	124	126,362	81,578	501	71	812,859	1,421	333,19	7,4	9,2	5257
04/07/2016	18.00.00	119,307	124	126,386	81,578	502	69	813,337	1,381	333,19	6,7	8,2	5257
04/07/2016	19.00.00	119,307	124	126,386	81,578	502	69	813,337	1,381	333,19	6,7	8,2	5257
04/07/2016	20.00.00	119,307	124	126,362	82,597	507	70	815,966	1,401	333,19	6,8	8	5257
04/07/2016	21.00.00	119,307	124	126,362	82,597	507	70	815,966	1,401	333,19	6,8	8	5257
04/07/2016	22.00.00	120,327	124	126,386	81,578	506	68	815,727	1,361	333,19	7,2	7,6	5257
04/07/2016	23.00.00	120,327	124	126,386	81,578	506	68	815,727	1,361	333,19	7,2	7,6	5257



Date	Time	Boiler Feed Water			Product Steam				Blowdown		Coal		
		P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
05/07/2016	00.00.00	118,288	124	126,315	82,597	509	71	817,162	1,421	333,19	7,2	9,3	5257
05/07/2016	01.00.00	118,288	124	126,315	82,597	509	71	817,162	1,421	333,19	7,2	9,3	5257
05/07/2016	02.00.00	119,307	124	126,362	83,617	504	65	814,054	1,301	333,19	7,4	8,3	5257
05/07/2016	03.00.00	119,307	124	126,362	83,617	504	65	814,054	1,301	333,19	7,4	8,3	5257
05/07/2016	04.00.00	116,248	124	126,339	81,578	503	70	814,054	1,401	333,19	7,7	8,5	5257
05/07/2016	05.00.00	116,248	124	126,339	81,578	503	70	814,054	1,401	333,19	7,7	8,5	5257
05/07/2016	06.00.00	119,307	124	128,322	81,578	503	67	814,054	1,341	333,19	6,7	8,1	5257
05/07/2016	07.00.00	119,307	124	126,362	81,578	503	67	814,054	1,341	333,19	6,7	8,1	5257
05/07/2016	08.00.00	117,268	124	126,339	84,637	500	66	813,815	1,321	333,19	7,6	8,2	5257
05/07/2016	09.00.00	117,268	124	126,339	84,637	500	66	813,815	1,321	333,19	7,6	8,2	5257
05/07/2016	10.00.00	116,248	126	128,322	82,597	500	54	811,425	1,081	333,19	7,6	8,3	5257
05/07/2016	11.00.00	116,248	126	128,322	82,597	500	54	811,425	1,081	333,19	7,6	8,3	5257
05/07/2016	12.00.00	119,307	123	125,359	84,637	501	69	811,903	1,381	333,19	7,9	8,9	5257
05/07/2016	13.00.00	119,307	123	125,359	84,637	501	69	811,903	1,381	333,19	7,9	8,9	5257
05/07/2016	14.00.00	114,209	123	126,291	84,637	505	70	811,903	1,401	333,19	7,5	8,8	5257
05/07/2016	15.00.00	114,209	123	126,291	84,637	505	70	811,903	1,401	333,19	7,5	8,8	5257
05/07/2016	16.00.00	112,169	124	126,219	83,617	512	69	818,835	1,381	333,19	6,8	8,1	5257
05/07/2016	17.00.00	112,169	124	126,219	83,617	512	69	818,835	1,381	333,19	6,8	8,1	5257
05/07/2016	18.00.00	115,228	124	126,267	82,597	500	71	811,903	1,421	333,19	6,7	7,1	5257
05/07/2016	19.00.00	115,228	124	126,267	82,597	500	71	811,903	1,421	333,19	6,7	7,1	5257
05/07/2016	20.00.00	111,149	124	126,219	84,637	511	72	817,879	1,441	333,19	6,9	7,4	5257
05/07/2016	21.00.00	111,149	124	126,219	84,637	511	72	817,879	1,441	333,19	6,9	7,4	5257
05/07/2016	22.00.00	113,189	124	126,267	82,597	511	73	818,357	1,461	333,19	6,4	8,5	5257
05/07/2016	23.00.00	113,189	124	126,267	82,597	511	73	818,357	1,461	333,19	6,4	8,5	5257

Date	Time	Boiler Feed Water			Product Steam				Blowdown		Coal		
		P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
06/07/2016	00.00.00	111,149	124	126,243	81,578	509	73	817,640	1,461	333,19	6,3	8,6	5257
06/07/2016	01.00.00	111,149	124	126,243	81,578	509	73	817,640	1,461	333,19	6,3	8,6	5257
06/07/2016	02.00.00	116,248	124	126,243	83,617	504	70	814,054	1,401	333,19	5,4	8,5	5257
06/07/2016	03.00.00	116,248	124	126,243	83,617	504	70	814,054	1,401	333,19	5,4	8,5	5257
06/07/2016	04.00.00	112,169	124	126,195	81,578	503	74	814,054	1,481	333,19	5,9	8,5	5257
06/07/2016	05.00.00	112,169	124	126,195	81,578	503	74	814,054	1,481	333,19	5,9	8,5	5257
06/07/2016	06.00.00	112,169	124	128,275	81,578	503	72	814,054	1,441	333,19	6,1	8	5257
06/07/2016	07.00.00	112,169	124	126,243	81,578	503	72	814,054	1,441	333,19	6,1	8	5257
06/07/2016	08.00.00	109,110	124	126,195	81,578	500	71	812,142	1,421	333,19	5,8	8,2	5257
06/07/2016	09.00.00	109,110	124	126,195	81,578	500	71	812,142	1,421	333,19	5,8	8,2	5257
06/07/2016	10.00.00	112,169	125	128,275	81,578	500	71	812,142	1,421	333,19	6,1	8,2	5257
06/07/2016	11.00.00	112,169	125	128,275	81,578	500	71	812,142	1,421	333,19	6,1	8,2	5257
06/07/2016	12.00.00	111,149	124	125,215	82,597	501	71	812,620	1,421	333,19	5,7	8,6	5257
06/07/2016	13.00.00	111,149	124	125,215	82,597	501	71	812,620	1,421	333,19	5,7	8,6	5257
06/07/2016	14.00.00	111,149	124	126,243	83,617	505	72	814,532	1,441	333,19	5,9	8,6	5257
06/07/2016	15.00.00	111,149	124	126,243	83,617	505	72	814,532	1,441	333,19	5,9	8,6	5257
06/07/2016	16.00.00	111,149	124	126,195	83,617	512	72	818,835	1,441	333,19	5,9	8,6	5257
06/07/2016	17.00.00	111,149	124	126,195	83,617	512	72	818,835	1,441	333,19	5,9	8,6	5257
06/07/2016	18.00.00	112,169	124	126,219	82,597	500	73	811,903	1,461	333,19	6,2	8,1	5257
06/07/2016	19.00.00	112,169	124	126,219	82,597	500	73	811,903	1,461	333,19	6,2	8,1	5257
06/07/2016	20.00.00	109,110	124	126,195	83,617	511	71	818,118	1,421	333,19	6,2	8,5	5257
06/07/2016	21.00.00	109,110	124	126,195	83,617	511	71	818,118	1,421	333,19	6,2	8,5	5257
06/07/2016	22.00.00	111,149	124	126,219	83,617	511	72	818,118	1,441	333,19	6,1	8,1	5257
06/07/2016	23.00.00	111,149	124	126,219	83,617	511	72	818,118	1,441	333,19	6,1	8,1	5257

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Date	Time	Boiler Feed Water			Product Steam				Blowdown		Coal		
		P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
10/07/2016	00.00.00	130,524	53	56,621	85,656	513	64	818,835	1,281	333,19	6	7	5419
10/07/2016	01.00.00	130,524	53	56,621	85,656	513	64	818,835	1,281	333,19	6	7	5419
10/07/2016	02.00.00	125,426	54	55,617	82,597	514	62	820,269	1,241	333,19	5,7	6,9	5419
10/07/2016	03.00.00	125,426	54	55,617	82,597	514	62	820,269	1,241	333,19	5,7	6,9	5419
10/07/2016	04.00.00	130,524	54	55,521	82,597	508	65	816,684	1,301	333,19	6	8	5419
10/07/2016	05.00.00	130,524	54	55,521	82,597	508	65	816,684	1,301	333,19	6	8	5419
10/07/2016	06.00.00	129,504	53	55,641	83,617	515	65	820,508	1,301	333,19	6	7,6	5419
10/07/2016	07.00.00	129,504	53	55,617	83,617	515	65	820,508	1,301	333,19	6	7,6	5419
10/07/2016	08.00.00	125,426	53	55,521	84,637	503	66	813,098	1,321	333,19	5,3	7,7	5419
10/07/2016	09.00.00	125,426	53	55,521	84,637	503	66	813,098	1,321	333,19	5,3	7,7	5419
10/07/2016	10.00.00	131,544	53	55,641	82,597	493	60	807,840	1,201	333,19	5,9	7,7	5419
10/07/2016	11.00.00	131,544	53	55,641	82,597	493	60	807,840	1,201	333,19	5,9	7,7	5419
10/07/2016	12.00.00	131,544	53	55,641	83,617	494	62	808,079	1,241	333,19	5,7	8,1	5419
10/07/2016	13.00.00	131,544	53	55,641	83,617	494	62	808,079	1,241	333,19	5,7	8,1	5419
10/07/2016	14.00.00	130,524	58	60,564	81,578	492	62	807,362	1,241	333,19	5,9	7,2	5419
10/07/2016	15.00.00	130,524	58	60,564	81,578	492	62	807,362	1,241	333,19	5,9	7,2	5419
10/07/2016	16.00.00	129,504	58	60,564	83,617	509	62	816,923	1,241	333,19	5,6	7,4	5419
10/07/2016	17.00.00	129,504	58	60,564	83,617	509	62	816,923	1,241	333,19	5,6	7,4	5419
10/07/2016	18.00.00	129,504	58	60,564	83,617	512	61	818,835	1,221	333,19	6,1	6,5	5419
10/07/2016	19.00.00	129,504	58	60,564	83,617	512	61	818,835	1,221	333,19	6,1	6,5	5419
10/07/2016	20.00.00	129,504	58	60,564	82,597	509	63	817,162	1,261	333,19	6,4	7,4	5419
10/07/2016	21.00.00	129,504	58	60,564	82,597	509	63	817,162	1,261	333,19	6,4	7,4	5419
10/07/2016	22.00.00	129,504	58	60,564	83,617	506	63	816,923	1,261	333,19	6	7,6	5419
10/07/2016	23.00.00	129,504	58	60,564	83,617	506	63	816,923	1,261	333,19	6	7,6	5419

Date	Time	Boiler Feed Water			Product Steam				Blowdown		Coal		
		P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
11/07/2016	00.00.00	128,485	59	61,544	84,637	506	65	815,010	1,301	333,19	6,2	7,3	5419
11/07/2016	01.00.00	128,485	59	61,544	84,637	506	65	815,010	1,301	333,19	6,2	7,3	5419
11/07/2016	02.00.00	128,485	58	60,540	81,578	499	66	811,664	1,321	333,19	6,2	8,1	5419
11/07/2016	03.00.00	128,485	58	60,540	81,578	499	66	811,664	1,321	333,19	6,2	8,1	5419
11/07/2016	04.00.00	128,485	59	60,540	84,637	499	66	810,708	1,321	333,19	5,6	8,5	5419
11/07/2016	05.00.00	128,485	59	60,540	84,637	499	66	810,708	1,321	333,19	5,6	8,5	5419
11/07/2016	06.00.00	128,485	58	64,484	83,617	499	66	810,947	1,321	333,19	6,1	8	5419
11/07/2016	07.00.00	128,485	58	60,540	83,617	499	66	810,947	1,321	333,19	6,1	8	5419
11/07/2016	08.00.00	128,485	58	60,540	83,617	499	66	810,947	1,321	333,19	6,1	8	5419
11/07/2016	09.00.00	128,485	58	60,540	83,617	499	66	810,947	1,321	333,19	6,1	8	5419
11/07/2016	10.00.00	126,445	62	64,484	79,538	503	61	814,532	1,221	333,19	6,4	7,3	5419
11/07/2016	11.00.00	126,445	62	64,484	79,538	503	61	814,532	1,221	333,19	6,4	7,3	5419
11/07/2016	12.00.00	120,327	129	131,429	84,637	508	72	817,401	1,441	333,19	6,6	7,4	5419
11/07/2016	13.00.00	120,327	129	131,429	84,637	508	72	817,401	1,441	333,19	6,6	7,4	5419
11/07/2016	14.00.00	117,268	127	130,330	81,578	493	71	808,079	1,421	333,19	6,6	7,4	5419
11/07/2016	15.00.00	117,268	127	130,330	81,578	493	71	808,079	1,421	333,19	6,6	7,4	5419
11/07/2016	16.00.00	117,268	127	130,330	81,578	493	71	808,079	1,421	333,19	5,7	8,1	5419
11/07/2016	17.00.00	117,268	127	130,330	81,578	493	71	808,079	1,421	333,19	5,7	8,1	5419
11/07/2016	18.00.00	114,209	128	130,330	80,558	501	76	813,098	1,521	333,19	5,6	8,4	5419
11/07/2016	19.00.00	114,209	128	130,330	80,558	501	76	813,098	1,521	333,19	5,6	8,4	5419
11/07/2016	20.00.00	115,228	128	130,330	81,578	500	76	812,142	1,521	333,19	6,4	7,9	5419
11/07/2016	21.00.00	115,228	128	130,330	81,578	500	76	812,142	1,521	333,19	6,4	7,9	5419
11/07/2016	22.00.00	115,228	128	130,330	80,558	498	75	811,425	1,501	333,19	6,4	8,4	5419
11/07/2016	23.00.00	115,228	128	130,330	80,558	498	75	816,923	1,501	333,19	6,4	8,4	5419

Date	Time	Boiler Feed Water			Product Steam				Blowdown		Coal		
		P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
12/07/2016	00.00.00	113,189	124	130,306	82,597	492	73	807,123	1,461	333,19	7,6	7,1	5419
12/07/2016	01.00.00	113,189	124	130,306	82,597	492	73	807,123	1,461	333,19	7,6	7,1	5419
12/07/2016	02.00.00	113,189	124	130,282	81,578	500	73	812,142	1,461	333,19	7,6	7,1	5419
12/07/2016	03.00.00	113,189	124	130,282	81,578	500	73	812,142	1,461	333,19	7,6	7,1	5419
12/07/2016	04.00.00	113,189	124	129,278	81,578	500	73	812,142	1,461	333,19	7,6	7,1	5419
12/07/2016	05.00.00	113,189	124	129,278	81,578	500	73	812,142	1,461	333,19	7,6	7,1	5419
12/07/2016	06.00.00	112,169	124	129,278	81,578	502	73	813,337	1,461	333,19	7,7	7	5419
12/07/2016	07.00.00	112,169	124	130,282	81,578	502	73	813,337	1,461	333,19	7,7	7	5419
12/07/2016	08.00.00	112,169	124	129,278	82,597	495	73	809,035	1,461	333,19	7,6	7,7	5419
12/07/2016	09.00.00	112,169	124	129,278	82,597	495	73	809,035	1,461	333,19	7,6	7,7	5419
12/07/2016	10.00.00	112,169	126	129,278	83,617	505	78	814,532	1,561	333,19	7,4	7,6	5419
12/07/2016	11.00.00	112,169	126	129,278	83,617	505	78	814,532	1,561	333,19	7,4	7,6	5419
12/07/2016	12.00.00	111,149	123	130,282	81,578	495	76	809,274	1,521	333,19	7,3	7,2	5419
12/07/2016	13.00.00	111,149	123	130,282	81,578	495	76	809,274	1,521	333,19	7,3	7,2	5419
12/07/2016	14.00.00	112,169	123	142,519	83,617	502	74	812,859	1,481	333,19	7,4	7,4	5419
12/07/2016	15.00.00	112,169	123	142,519	83,617	502	74	812,859	1,481	333,19	7,4	7,4	5419
12/07/2016	16.00.00	114,209	124	138,480	86,676	502	75	811,903	1,501	333,19	8,4	6,4	5419
12/07/2016	17.00.00	114,209	124	138,480	86,676	502	75	811,903	1,501	333,19	8,4	6,4	5419
12/07/2016	18.00.00	116,248	124	137,452	83,617	508	79	816,444	1,581	333,19	7	5,6	5419
12/07/2016	19.00.00	116,248	124	137,452	83,617	508	79	816,444	1,581	333,19	7	5,6	5419
12/07/2016	20.00.00	117,268	124	138,480	83,617	495	66	808,557	1,321	333,19	7,7	5,6	5419
12/07/2016	21.00.00	117,268	124	138,480	83,617	495	66	808,557	1,321	333,19	7,7	5,6	5419
12/07/2016	22.00.00	116,248	124	137,452	81,578	500	68	812,142	1,361	333,19	7	5,7	5419
12/07/2016	23.00.00	116,248	124	137,452	81,578	500	68	812,142	1,361	333,19	7	5,7	5419



Date	Time	Boiler Feed Water			Product Steam				Blowdown		Coal		
		P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
13/07/2016	00.00.00	118,288	135	130,449	84,637	502	71	812,620	1,421	333,19	5,9	7	5419
13/07/2016	01.00.00	118,288	135	130,449	84,637	502	71	812,620	1,421	333,19	5,9	7	5419
13/07/2016	02.00.00	120,327	135	130,449	86,676	509	65	816,205	1,301	333,19	6,2	6,5	5419
13/07/2016	03.00.00	120,327	135	130,449	86,676	509	65	816,205	1,301	333,19	6,2	6,5	5419
13/07/2016	04.00.00	121,347	128	130,449	83,617	500	70	811,664	1,401	333,19	5,9	6,9	5419
13/07/2016	05.00.00	121,347	128	130,449	83,617	500	70	811,664	1,401	333,19	5,9	6,9	5419
13/07/2016	06.00.00	121,347	128	130,449	83,617	500	67	811,664	1,341	333,19	6,1	6,3	5419
13/07/2016	07.00.00	121,347	128	130,449	83,617	500	67	811,664	1,341	333,19	6,1	6,3	5419
13/07/2016	08.00.00	121,347	128	130,449	83,617	500	66	811,664	1,321	333,19	6,1	6,3	5419
13/07/2016	09.00.00	121,347	128	130,449	83,617	500	66	811,664	1,321	333,19	6,1	6,3	5419
13/07/2016	10.00.00	121,347	128	130,449	83,617	500	54	811,664	1,081	333,19	6,1	6,3	5419
13/07/2016	11.00.00	121,347	128	130,449	83,617	500	54	811,664	1,081	333,19	6,1	6,3	5419
13/07/2016	12.00.00	121,347	128	130,449	83,617	500	69	811,664	1,381	333,19	6,1	6,3	5419
13/07/2016	13.00.00	121,347	128	130,449	83,617	500	69	811,664	1,381	333,19	6,1	6,3	5419
13/07/2016	14.00.00	121,347	137	137,476	81,578	493	70	808,079	1,401	333,19	6,5	5,1	5419
13/07/2016	15.00.00	121,347	137	137,476	81,578	493	70	808,079	1,401	333,19	6,5	5,1	5419
13/07/2016	16.00.00	118,288	134	138,504	81,578	502	69	813,337	1,381	333,19	5,9	5,5	5419
13/07/2016	17.00.00	118,288	134	138,504	81,578	502	69	813,337	1,381	333,19	5,9	5,5	5419
13/07/2016	18.00.00	118,288	135	138,528	81,578	502	71	813,337	1,421	333,19	5,9	8	5419
13/07/2016	19.00.00	118,288	135	138,528	81,578	502	71	813,337	1,421	333,19	5,9	8	5419
13/07/2016	20.00.00	119,307	136	138,504	82,597	502	72	813,098	1,441	333,19	6	8,1	5419
13/07/2016	21.00.00	119,307	136	138,504	82,597	502	72	813,098	1,441	333,19	6	8,1	5419
13/07/2016	22.00.00	120,327	136	138,528	82,597	502	73	813,098	1,461	333,19	6,2	7,9	5419
13/07/2016	23.00.00	120,327	136	138,528	82,597	502	73	813,098	1,461	333,19	6,2	7,9	5419

Date	Time	Boiler Feed Water			Product Steam				Blowdown		Coal		
		P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
14/07/2016	00.00.00	110,130	135	130,282	81,578	499	72	813,337	1,441	333,19	7,2	9,3	5419
14/07/2016	01.00.00	110,130	135	130,282	81,578	499	72	813,337	1,441	333,19	7,2	9,3	5419
14/07/2016	02.00.00	111,149	135	130,282	81,578	500	73	817,640	1,461	333,19	7,4	8,3	5419
14/07/2016	03.00.00	111,149	135	130,282	81,578	500	73	817,640	1,461	333,19	7,4	8,3	5419
14/07/2016	04.00.00	111,149	128	130,282	82,597	503	71	811,903	1,421	333,19	7,7	8,5	5419
14/07/2016	05.00.00	111,149	128	130,282	82,597	503	71	811,903	1,421	333,19	7,7	8,5	5419
14/07/2016	06.00.00	111,149	128	130,282	81,578	504	74	812,142	1,481	333,19	6,7	8,1	5419
14/07/2016	07.00.00	111,149	128	130,282	81,578	504	74	812,142	1,481	333,19	6,7	8,1	5419
14/07/2016	08.00.00	111,149	128	130,282	83,617	503	76	811,664	1,521	333,19	7,6	8,2	5419
14/07/2016	09.00.00	111,149	128	130,282	83,617	503	76	811,664	1,521	333,19	7,6	8,2	5419
14/07/2016	10.00.00	111,149	128	130,282	82,597	489	71	811,903	1,421	333,19	7,6	8,3	5419
14/07/2016	11.00.00	111,149	128	130,282	82,597	489	71	811,903	1,421	333,19	7,6	8,3	5419
14/07/2016	12.00.00	111,149	128	130,282	82,597	496	72	811,903	1,441	333,19	7,9	8,9	5419
14/07/2016	13.00.00	111,149	128	130,282	82,597	496	72	811,903	1,441	333,19	7,9	8,9	5419
14/07/2016	14.00.00	111,149	137	137,500	81,578	491	73	808,079	1,461	333,19	7,5	8,8	5419
14/07/2016	15.00.00	111,149	137	137,500	81,578	491	73	808,079	1,461	333,19	7,5	8,8	5419
14/07/2016	16.00.00	120,327	134	138,456	84,637	503	75	812,620	1,501	333,19	6,8	8,1	5419
14/07/2016	17.00.00	120,327	134	138,456	84,637	503	75	812,620	1,501	333,19	6,8	8,1	5419
14/07/2016	18.00.00	119,307	135	138,528	83,617	500	70	812,859	1,401	333,19	6,7	7,1	5419
14/07/2016	19.00.00	119,307	135	138,528	83,617	500	70	812,859	1,401	333,19	6,7	7,1	5419
14/07/2016	20.00.00	116,248	136	138,456	81,578	504	72	813,337	1,441	333,19	6,9	7,4	5419
14/07/2016	21.00.00	116,248	136	138,456	81,578	504	72	813,337	1,441	333,19	6,9	7,4	5419
14/07/2016	22.00.00	120,327	136	138,528	80,558	492	72	813,576	1,441	333,19	6,4	8,5	5419
14/07/2016	23.00.00	120,327	136	138,528	80,558	492	72	813,576	1,441	333,19	6,4	8,5	5419

Date	Time	Boiler Feed Water			Product Steam				Blowdown		Coal		
		P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
15/07/2016	00.00.00	117,268	135	137,476	81,578	509	73	817,640	1,461	333,19	7,2	9,3	5419
15/07/2016	01.00.00	117,472	135	137,476	81,578	509	73	817,640	1,461	333,19	7,2	9,3	5419
15/07/2016	02.00.00	117,370	135	137,476	83,617	504	70	814,054	1,401	333,19	7,4	8,3	5419
15/07/2016	03.00.00	117,268	134	137,476	83,617	504	70	814,054	1,401	333,19	7,4	8,3	5419
15/07/2016	04.00.00	118,695	135	137,452	81,578	503	74	814,054	1,481	333,19	7,7	8,5	5419
15/07/2016	05.00.00	118,288	135	137,452	81,578	503	74	814,054	1,481	333,19	7,7	8,5	5419
15/07/2016	06.00.00	117,880	135	137,452	81,578	503	72	814,054	1,441	333,19	6,7	8,1	5419
15/07/2016	07.00.00	118,288	135	137,476	81,578	503	72	814,054	1,441	333,19	6,7	8,1	5419
15/07/2016	08.00.00	117,676	135	137,452	81,578	500	71	812,142	1,421	333,19	7,6	8,2	5419
15/07/2016	09.00.00	116,758	135	137,452	81,578	500	71	812,142	1,421	333,19	7,6	8,2	5419
15/07/2016	10.00.00	117,472	135	137,452	81,578	500	71	812,142	1,421	333,19	7,6	8,3	5419
15/07/2016	11.00.00	117,268	135	137,452	81,578	500	71	812,142	1,421	333,19	7,6	8,3	5419
15/07/2016	12.00.00	114,922	136	138,456	82,597	501	71	812,620	1,421	333,19	7,9	8,9	5419
15/07/2016	13.00.00	115,228	135	138,456	82,597	501	71	812,620	1,421	333,19	7,9	8,9	5419
15/07/2016	14.00.00	117,472	135	137,500	83,617	505	72	814,532	1,441	333,19	7,5	8,8	5419
15/07/2016	15.00.00	117,268	137	137,500	83,617	505	72	814,532	1,441	333,19	7,5	8,8	5419
15/07/2016	16.00.00	120,123	135	137,524	83,617	512	72	818,835	1,441	333,19	6,8	8,1	5419
15/07/2016	17.00.00	120,327	136	137,524	83,617	512	72	818,835	1,441	333,19	6,8	8,1	5419
15/07/2016	18.00.00	119,919	135	137,381	82,597	500	73	811,903	1,461	333,19	6,7	7,1	5419
15/07/2016	19.00.00	120,327	135	137,381	82,597	500	73	811,903	1,461	333,19	6,7	7,1	5419
15/07/2016	20.00.00	121,347	135	137,524	83,617	511	71	818,118	1,421	333,19	6,9	7,4	5419
15/07/2016	21.00.00	121,347	135	137,524	83,617	511	71	818,118	1,421	333,19	6,9	7,4	5419
15/07/2016	22.00.00	112,475	135	137,381	83,617	511	72	818,118	1,441	333,19	6,4	8,5	5419
15/07/2016	23.00.00	112,169	135	137,381	83,617	511	72	818,118	1,441	333,19	6,4	8,5	5419

Date	Time	Boiler Feed Water			Product Steam				Blowdown		Coal		
		P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
16/07/2016	00.00.00	123,386	108	110,373	82,597	502	51	813,098	1,021	333,19	6	6,1	5641
16/07/2016	01.00.00	123,386	108	110,373	82,597	502	51	813,098	1,021	333,19	6	6,1	5641
16/07/2016	02.00.00	123,386	107	109,369	81,578	498	51	810,947	1,021	333,19	5,8	6,5	5641
16/07/2016	03.00.00	123,386	107	109,369	81,578	498	51	810,947	1,021	333,19	5,8	6,5	5641
16/07/2016	04.00.00	126,445	108	109,369	81,578	515	50	820,986	1,001	333,19	5,3	7	5641
16/07/2016	05.00.00	126,445	108	109,369	81,578	515	50	820,986	1,001	333,19	5,3	7	5641
16/07/2016	06.00.00	126,445	107	109,297	81,578	500	50	812,142	1,001	333,19	5,2	6,6	5641
16/07/2016	07.00.00	126,445	107	109,369	81,578	500	50	812,142	1,001	333,19	5,2	6,6	5641
16/07/2016	08.00.00	125,426	107	109,369	82,597	522	52	824,810	1,041	333,19	5,5	7,3	5641
16/07/2016	09.00.00	125,426	107	109,369	82,597	522	52	824,810	1,041	333,19	5,5	7,3	5641
16/07/2016	10.00.00	121,347	107	109,297	81,578	502	51	813,337	1,021	333,19	5,8	6,5	5641
16/07/2016	11.00.00	121,347	107	109,297	81,578	502	51	813,337	1,021	333,19	5,8	6,5	5641
16/07/2016	12.00.00	122,366	107	109,297	83,617	519	50	822,898	1,001	333,19	6	7,5	5641
16/07/2016	13.00.00	122,366	107	109,297	83,617	519	50	822,898	1,001	333,19	6	7,5	5641
16/07/2016	14.00.00	125,426	107	109,345	80,558	501	50	813,098	1,001	333,19	6	6,6	5641
16/07/2016	15.00.00	125,426	107	109,345	80,558	501	50	813,098	1,001	333,19	6	6,6	5641
16/07/2016	16.00.00	123,386	107	114,340	80,558	501	50	813,098	1,001	333,19	5,7	7,1	5641
16/07/2016	17.00.00	123,386	107	114,340	80,558	501	50	813,098	1,001	333,19	5,7	7,1	5641
16/07/2016	18.00.00	124,406	107	118,427	86,676	501	52	811,425	1,041	333,19	5,8	7,4	5641
16/07/2016	19.00.00	124,406	107	118,427	86,676	501	52	811,425	1,041	333,19	5,8	7,4	5641
16/07/2016	20.00.00	122,366	112	114,340	83,617	509	50	816,923	1,001	333,19	5,8	7,2	5641
16/07/2016	21.00.00	122,366	112	114,340	83,617	509	50	816,923	1,001	333,19	5,8	7,2	5641
16/07/2016	22.00.00	126,445	116	118,427	81,578	499	48	811,664	0,961	333,19	5,7	6,5	5641
16/07/2016	23.00.00	126,445	116	118,427	81,578	499	48	811,664	0,961	333,19	5,7	6,5	5641

Date	Time	Boiler Feed Water			Product Steam				Blowdown		Coal		
		P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
17/07/2016	00.00.00	117,268	129	129,3739	83,617	501	61	812,1424	1,221	333,19	6,2	7,9	5641
17/07/2016	01.00.00	117,268	129	129,3739	83,617	501	61	812,1424	1,221	333,19	6,2	7,9	5641
17/07/2016	02.00.00	122,366	127	129,4696	83,617	485	61	802,5821	1,221	333,19	6,1	7,3	5641
17/07/2016	03.00.00	122,366	127	129,4696	83,617	485	61	802,5821	1,221	333,19	6,1	7,3	5641
17/07/2016	04.00.00	118,288	127	129,4696	84,637	492	58	806,6453	1,161	333,19	6	7,2	5641
17/07/2016	05.00.00	118,288	127	129,4696	84,637	492	58	806,6453	1,161	333,19	6	7,2	5641
17/07/2016	06.00.00	124,406	127	129,4696	81,578	481	56	800,9091	1,121	333,19	5,8	7,5	5641
17/07/2016	07.00.00	124,406	127	129,4696	81,578	481	56	800,9091	1,121	333,19	5,8	7,5	5641
17/07/2016	08.00.00	123,386	127	129,4696	81,578	481	58	800,9091	1,161	333,19	5,9	7,5	5641
17/07/2016	09.00.00	123,386	127	129,4696	81,578	481	58	800,9091	1,161	333,19	5,9	7,5	5641
17/07/2016	10.00.00	124,406	127	129,4696	88,716	481	58	800,9091	1,161	333,19	6	7,2	5641
17/07/2016	11.00.00	124,406	127	129,4696	88,716	481	58	800,9091	1,161	333,19	6	7,2	5641
17/07/2016	12.00.00	127,465	127	129,5174	88,716	481	56	798,7581	1,121	333,19	6,1	7,4	5641
17/07/2016	13.00.00	127,465	127	129,5174	88,716	481	56	798,7581	1,121	333,19	6,1	7,4	5641
17/07/2016	14.00.00	127,465	112	115,3443	81,578	497	56	798,7581	1,121	333,19	6,2	7,1	5641
17/07/2016	15.00.00	127,465	112	115,3443	81,578	497	56	798,7581	1,121	333,19	6,2	7,1	5641
17/07/2016	16.00.00	125,426	114	115,3443	80,558	496	54	810,4693	1,081	333,19	5,9	7,3	5641
17/07/2016	17.00.00	125,426	114	115,3443	80,558	496	54	810,4693	1,081	333,19	5,9	7,3	5641
17/07/2016	18.00.00	123,386	113	115,3921	79,538	491	56	810,4693	1,121	333,19	5,9	7,3	5641
17/07/2016	19.00.00	123,386	113	115,3921	79,538	491	56	810,4693	1,121	333,19	5,9	7,3	5641
17/07/2016	20.00.00	123,386	113	115,3443	79,538	491	54	807,3623	1,081	333,19	5,8	7	5641
17/07/2016	21.00.00	123,386	113	115,3443	79,538	491	54	807,3623	1,081	333,19	5,8	7	5641
17/07/2016	22.00.00	126,445	113	115,3921	81,578	493	55	808,0793	1,101	333,19	5,7	7,3	5641
17/07/2016	23.00.00	126,445	113	115,3921	81,578	493	55	808,0793	1,101	333,19	5,7	7,3	5641

Date	Time	Boiler Feed Water			Product Steam				Blowdown		Coal		
		P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
18/07/2016	00.00.00	119,307	129	130,330	81,578	500	61	812,142	1,221	333,19	6,1	8	5641
18/07/2016	01.00.00	119,307	129	130,330	81,578	500	61	812,142	1,221	333,19	6,1	8	5641
18/07/2016	02.00.00	119,307	129	130,449	81,578	501	64	812,859	1,281	333,19	6,3	8,9	5641
18/07/2016	03.00.00	119,307	129	130,449	81,578	501	64	812,859	1,281	333,19	6,3	8,9	5641
18/07/2016	04.00.00	114,209	128	130,449	80,558	477	64	798,758	1,281	333,19	6,1	8,5	5641
18/07/2016	05.00.00	114,209	128	130,449	80,558	477	64	798,758	1,281	333,19	6,1	8,5	5641
18/07/2016	06.00.00	122,366	128	132,385	80,558	477	64	798,758	1,281	333,19	6,3	8,4	5641
18/07/2016	07.00.00	122,366	128	130,449	80,558	477	64	798,758	1,281	333,19	6,3	8,4	5641
18/07/2016	08.00.00	122,366	128	130,449	80,558	477	64	798,758	1,281	333,19	6,4	7,7	5641
18/07/2016	09.00.00	122,366	128	130,449	80,558	477	64	798,758	1,281	333,19	6,4	7,7	5641
18/07/2016	10.00.00	117,268	130	132,385	80,558	484	61	803,060	1,221	333,19	6,6	8	5641
18/07/2016	11.00.00	117,268	130	132,385	80,558	484	61	803,060	1,221	333,19	6,6	8	5641
18/07/2016	12.00.00	121,347	128	130,449	79,538	483	58	802,343	1,161	333,19	6,2	7,6	5641
18/07/2016	13.00.00	121,347	128	130,449	79,538	483	58	802,343	1,161	333,19	6,2	7,6	5641
18/07/2016	14.00.00	117,268	129	131,477	80,558	490	60	806,645	1,201	333,19	6,1	7,3	5641
18/07/2016	15.00.00	117,268	129	131,477	80,558	490	60	806,645	1,201	333,19	6,1	7,3	5641
18/07/2016	16.00.00	122,366	128	130,473	80,558	487	61	804,733	1,221	333,19	6	7	5641
18/07/2016	17.00.00	122,366	128	130,473	80,558	487	61	804,733	1,221	333,19	6	7	5641
18/07/2016	18.00.00	122,366	129	130,378	81,578	483	62	801,865	1,241	333,19	6,2	7,9	5641
18/07/2016	19.00.00	122,366	129	130,473	81,578	483	62	801,865	1,241	333,19	6,2	7,9	5641
18/07/2016	20.00.00	123,386	128	130,473	82,597	489	63	805,450	1,261	333,19	6,4	7,7	5641
18/07/2016	21.00.00	123,386	128	130,473	82,597	489	63	805,450	1,261	333,19	6,4	7,7	5641
18/07/2016	22.00.00	117,268	128	130,378	87,696	492	61	805,689	1,221	333,19	6,6	7,3	5641
18/07/2016	23.00.00	117,268	128	130,473	87,696	492	61	805,689	1,221	333,19	6,6	7,3	5641

Date	Time	Boiler Feed Water			Product Steam				Blowdown		Coal		
		P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
19/07/2016	00.00.00	117,268	129	129,3739	83,617	501	61	812,1424	1,221	333,19	6,2	7,9	5641
19/07/2016	01.00.00	117,268	129	129,3739	83,617	501	61	812,1424	1,221	333,19	6,2	7,9	5641
19/07/2016	02.00.00	122,366	127	129,4696	83,617	485	61	802,5821	1,221	333,19	6,1	7,3	5641
19/07/2016	03.00.00	122,366	127	129,4696	83,617	485	61	802,5821	1,221	333,19	6,1	7,3	5641
19/07/2016	04.00.00	118,288	127	129,4696	84,637	492	58	806,6453	1,161	333,19	6	7,2	5641
19/07/2016	05.00.00	118,288	127	129,4696	84,637	492	58	806,6453	1,161	333,19	6	7,2	5641
19/07/2016	06.00.00	124,406	127	129,4696	81,578	481	56	800,9091	1,121	333,19	5,8	7,5	5641
19/07/2016	07.00.00	124,406	127	129,4696	81,578	481	56	800,9091	1,121	333,19	5,8	7,5	5641
19/07/2016	08.00.00	123,386	127	129,4696	81,578	481	56	800,9091	1,121	333,19	5,9	7,5	5641
19/07/2016	09.00.00	123,386	127	129,4696	81,578	481	56	800,9091	1,121	333,19	5,9	7,5	5641
19/07/2016	10.00.00	124,406	127	129,4696	88,716	481	56	800,9091	1,121	333,19	6	7,2	5641
19/07/2016	11.00.00	124,406	127	129,4696	88,716	481	56	800,9091	1,121	333,19	6	7,2	5641
19/07/2016	12.00.00	127,465	127	129,5174	88,716	481	56	798,7581	1,121	333,19	6,1	7,4	5641
19/07/2016	13.00.00	127,465	127	129,5174	88,716	481	56	798,7581	1,121	333,19	6,1	7,4	5641
19/07/2016	14.00.00	127,465	112	115,3443	81,578	497	56	798,7581	1,121	333,19	6,2	7,1	5641
19/07/2016	15.00.00	127,465	112	115,3443	81,578	497	56	798,7581	1,121	333,19	6,2	7,1	5641
19/07/2016	16.00.00	125,426	114	115,3443	80,558	496	54	810,4693	1,081	333,19	5,9	7,3	5641
19/07/2016	17.00.00	125,426	114	115,3443	80,558	496	54	810,4693	1,081	333,19	5,9	7,3	5641
19/07/2016	18.00.00	123,386	113	115,3921	79,538	491	54	810,4693	1,081	333,19	5,9	7,3	5641
19/07/2016	19.00.00	123,386	113	115,3921	79,538	491	54	810,4693	1,081	333,19	5,9	7,3	5641
19/07/2016	20.00.00	123,386	113	115,3443	79,538	491	54	807,3623	1,081	333,19	5,8	7	5641
19/07/2016	21.00.00	123,386	113	115,3443	79,538	491	54	807,3623	1,081	333,19	5,8	7	5641
19/07/2016	22.00.00	126,445	113	115,3921	81,578	493	55	808,0793	1,101	333,19	5,7	7,3	5641
19/07/2016	23.00.00	126,445	113	115,3921	81,578	493	55	808,0793	1,101	333,19	5,7	7,3	5641

Date	Time	Boiler Feed Water			Product Steam				Blowdown		Coal		
		P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
20/07/2016	00.00.00	117,268	135	137,476	84,637	506	65	815,010	1,301	333,19	7,2	9,3	5641
20/07/2016	01.00.00	117,472	135	137,476	84,637	506	65	815,010	1,301	333,19	7,2	9,3	5641
20/07/2016	02.00.00	117,370	135	137,476	81,578	499	66	811,664	1,321	333,19	7,4	8,3	5641
20/07/2016	03.00.00	117,268	134	137,476	81,578	499	66	811,664	1,321	333,19	7,4	8,3	5641
20/07/2016	04.00.00	118,695	135	137,452	84,637	499	65	810,708	1,301	333,19	7,7	8,5	5641
20/07/2016	05.00.00	118,288	135	137,452	84,637	499	65	810,708	1,301	333,19	7,7	8,5	5641
20/07/2016	06.00.00	117,880	135	137,452	83,617	499	66	810,947	1,321	333,19	6,7	8,1	5641
20/07/2016	07.00.00	118,288	135	137,476	83,617	499	66	810,947	1,321	333,19	6,7	8,1	5641
20/07/2016	08.00.00	117,676	135	137,452	83,617	499	63	810,947	1,261	333,19	7,6	8,2	5641
20/07/2016	09.00.00	116,758	135	137,452	83,617	499	63	810,947	1,261	333,19	7,6	8,2	5641
20/07/2016	10.00.00	117,472	135	137,452	79,538	503	61	814,532	1,221	333,19	7,6	8,3	5641
20/07/2016	11.00.00	117,268	135	137,452	79,538	503	61	814,532	1,221	333,19	7,6	8,3	5641
20/07/2016	12.00.00	114,922	136	138,456	84,637	508	72	817,401	1,441	333,19	7,9	8,9	5641
20/07/2016	13.00.00	115,228	135	138,456	84,637	508	72	817,401	1,441	333,19	7,9	8,9	5641
20/07/2016	14.00.00	117,472	135	137,500	81,578	493	71	808,079	1,421	333,19	7,5	8,8	5641
20/07/2016	15.00.00	117,268	137	137,500	81,578	493	71	808,079	1,421	333,19	7,5	8,8	5641
20/07/2016	16.00.00	120,123	135	137,524	81,578	493	71	808,079	1,421	333,19	6,8	8,1	5641
20/07/2016	17.00.00	120,327	136	137,524	81,578	493	71	808,079	1,421	333,19	6,8	8,1	5641
20/07/2016	18.00.00	119,919	135	137,381	80,558	501	76	813,098	1,521	333,19	6,7	7,1	5641
20/07/2016	19.00.00	120,327	135	137,381	80,558	501	76	813,098	1,521	333,19	6,7	7,1	5641
20/07/2016	20.00.00	121,347	135	137,524	81,578	500	76	812,142	1,521	333,19	6,9	7,4	5641
20/07/2016	21.00.00	121,347	135	137,524	81,578	500	76	812,142	1,521	333,19	6,9	7,4	5641
20/07/2016	22.00.00	112,475	135	137,381	80,558	498	75	811,425	1,501	333,19	6,4	8,5	5641
20/07/2016	23.00.00	112,169	135	137,381	80,558	498	75	816,923	1,501	333,19	6,4	8,5	5641



Date	Time	Boiler Feed Water			Product Steam				Blowdown		Coal		
		P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
21/07/2016	00.00.00	123,386	108	110,373	82,597	502	51	813,098	1,021	333,19	6	6,4	5641
21/07/2016	01.00.00	123,386	108	110,373	82,597	502	51	813,098	1,021	333,19	6	6,4	5641
21/07/2016	02.00.00	123,386	107	109,369	81,578	498	51	810,947	1,021	333,19	5,8	6,9	5641
21/07/2016	03.00.00	123,386	107	109,369	81,578	498	51	810,947	1,021	333,19	5,8	6,9	5641
21/07/2016	04.00.00	126,445	108	109,369	81,578	515	50	820,986	1,001	333,19	5,3	7,3	5641
21/07/2016	05.00.00	126,445	108	109,369	81,578	515	50	820,986	1,001	333,19	5,3	7,3	5641
21/07/2016	06.00.00	126,445	107	109,297	81,578	500	50	812,142	1,001	333,19	5,2	6,6	5641
21/07/2016	07.00.00	126,445	107	109,369	81,578	500	50	812,142	1,001	333,19	5,2	6,6	5641
21/07/2016	08.00.00	125,426	107	109,369	82,597	522	52	824,810	1,041	333,19	5,5	7,3	5641
21/07/2016	09.00.00	125,426	107	109,369	82,597	522	52	824,810	1,041	333,19	5,5	7,3	5641
21/07/2016	10.00.00	121,347	107	109,297	81,578	502	51	813,337	1,021	333,19	5,8	6,5	5641
21/07/2016	11.00.00	121,347	107	109,297	81,578	502	51	813,337	1,021	333,19	5,8	6,5	5641
21/07/2016	12.00.00	122,366	107	109,297	83,617	519	53	822,898	1,061	333,19	6	7,5	5641
21/07/2016	13.00.00	122,366	107	109,297	83,617	519	53	822,898	1,061	333,19	6	7,5	5641
21/07/2016	14.00.00	125,426	107	109,345	80,558	501	52	813,098	1,041	333,19	6	6,6	5641
21/07/2016	15.00.00	125,426	107	109,345	80,558	501	52	813,098	1,041	333,19	6	6,6	5641
21/07/2016	16.00.00	123,386	107	114,340	80,558	501	50	813,098	1,001	333,19	5,7	7,1	5641
21/07/2016	17.00.00	123,386	107	114,340	80,558	501	50	813,098	1,001	333,19	5,7	7,1	5641
21/07/2016	18.00.00	124,406	107	118,427	86,676	501	56	811,425	1,121	333,19	5,8	7,4	5641
21/07/2016	19.00.00	124,406	107	118,427	86,676	501	56	811,425	1,121	333,19	5,8	7,4	5641
21/07/2016	20.00.00	122,366	112	114,340	83,617	509	50	816,923	1,001	333,19	5,8	7,2	5641
21/07/2016	21.00.00	122,366	112	114,340	83,617	509	50	816,923	1,001	333,19	5,8	7,2	5641
21/07/2016	22.00.00	126,445	116	118,427	81,578	499	48	811,664	0,961	333,19	5,7	6,5	5641
21/07/2016	23.00.00	126,445	116	118,427	81,578	499	48	811,664	0,961	333,19	5,7	6,5	5641

Date	Time	Boiler Feed Water			Product Steam				Blowdown		Coal		
		P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
22/07/2016	00.00.00	112,169	124	127,223	83,617	504	70	814,054	1,401	333,19	7,2	9	5641
22/07/2016	01.00.00	112,169	124	127,223	83,617	504	70	814,054	1,401	333,19	7,2	9	5641
22/07/2016	02.00.00	111,149	124	126,243	81,578	505	65	815,249	1,301	333,19	7,4	9,4	5641
22/07/2016	03.00.00	111,149	124	126,243	81,578	505	65	815,249	1,301	333,19	7,4	9,4	5641
22/07/2016	04.00.00	110,130	125	126,219	81,578	500	69	812,142	1,381	333,19	7,7	8,5	5641
22/07/2016	05.00.00	110,130	125	126,219	81,578	500	69	812,142	1,381	333,19	7,7	8,5	5641
22/07/2016	06.00.00	112,169	124	126,267	81,578	492	64	807,362	1,281	333,19	6,7	8,1	5641
22/07/2016	07.00.00	112,169	124	126,243	81,578	492	64	807,362	1,281	333,19	6,7	8,1	5641
22/07/2016	08.00.00	111,149	124	126,219	82,597	503	70	813,815	1,401	333,19	7,6	8,2	5641
22/07/2016	09.00.00	111,149	124	126,219	82,597	503	70	813,815	1,401	333,19	7,6	8,2	5641
22/07/2016	10.00.00	113,189	124	126,267	85,656	500	67	810,947	1,341	333,19	7,6	8,3	5641
22/07/2016	11.00.00	113,189	124	126,267	85,656	500	67	810,947	1,341	333,19	7,6	8,3	5641
22/07/2016	12.00.00	113,189	124	126,267	82,597	504	69	814,293	1,381	333,19	7,9	8,9	5641
22/07/2016	13.00.00	113,189	124	126,267	82,597	504	69	814,293	1,381	333,19	7,9	8,9	5641
22/07/2016	14.00.00	119,307	124	126,362	82,597	509	70	817,162	1,401	333,19	7,5	8,8	5641
22/07/2016	15.00.00	119,307	124	126,362	82,597	508	70	816,684	1,401	333,19	7,5	8,8	5641
22/07/2016	16.00.00	119,307	124	126,362	81,578	501	69	812,859	1,381	333,19	6,8	8,1	5641
22/07/2016	17.00.00	119,307	124	126,362	81,578	501	69	812,859	1,381	333,19	6,8	8,1	5641
22/07/2016	18.00.00	119,307	124	126,386	81,578	502	68	813,337	1,361	333,19	6,7	8,1	5641
22/07/2016	19.00.00	119,307	124	126,386	81,578	502	68	813,337	1,361	333,19	6,7	8,1	5641
22/07/2016	20.00.00	119,307	124	126,362	82,597	507	70	815,966	1,401	333,19	6,9	7,4	5641
22/07/2016	21.00.00	119,307	124	126,362	82,597	507	70	815,966	1,401	333,19	6,9	7,4	5641
22/07/2016	22.00.00	120,327	124	126,386	81,578	506	69	815,727	1,381	333,19	6,4	8,9	5641
22/07/2016	23.00.00	120,327	124	126,386	81,578	506	69	815,727	1,381	333,19	6,4	8,9	5641

Date	Time	Boiler Feed Water			Product Steam				Blowdown		Coal		
		P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
23/07/2016	00.00.00	112,169	124	127,223	83,617	504	65	814,054	1,301	333,19	7,2	9,3	5641
23/07/2016	01.00.00	112,169	124	127,223	83,617	504	65	814,054	1,301	333,19	7,2	9,3	5641
23/07/2016	02.00.00	111,149	124	126,243	81,578	505	66	815,249	1,321	333,19	7,4	8,3	5641
23/07/2016	03.00.00	111,149	124	126,243	81,578	505	66	815,249	1,321	333,19	7,4	8,3	5641
23/07/2016	04.00.00	110,130	125	126,219	81,578	500	66	812,142	1,321	333,19	7,7	8,5	5641
23/07/2016	05.00.00	110,130	125	126,219	81,578	500	66	812,142	1,321	333,19	7,7	8,5	5641
23/07/2016	06.00.00	112,169	124	126,267	81,578	492	65	807,362	1,301	333,19	6,7	8,1	5641
23/07/2016	07.00.00	112,169	124	126,243	81,578	492	65	807,362	1,301	333,19	6,7	8,1	5641
23/07/2016	08.00.00	111,149	124	126,219	82,597	503	61	813,815	1,221	333,19	7,6	8,2	5641
23/07/2016	09.00.00	111,149	124	126,219	82,597	503	61	813,815	1,221	333,19	7,6	8,2	5641
23/07/2016	10.00.00	113,189	124	126,267	85,656	500	61	810,947	1,221	333,19	7,6	8,3	5641
23/07/2016	11.00.00	113,189	124	126,267	85,656	500	61	810,947	1,221	333,19	7,6	8,3	5641
23/07/2016	12.00.00	113,189	124	126,267	82,597	504	72	814,293	1,441	333,19	7,9	8,9	5641
23/07/2016	13.00.00	113,189	124	126,267	82,597	504	72	814,293	1,441	333,19	7,9	8,9	5641
23/07/2016	14.00.00	119,307	124	126,362	82,597	509	71	817,162	1,421	333,19	7,5	8,8	5641
23/07/2016	15.00.00	119,307	124	126,362	82,597	508	71	816,684	1,421	333,19	7,5	8,8	5641
23/07/2016	16.00.00	119,307	124	126,362	81,578	501	70	812,859	1,401	333,19	6,8	8,1	5641
23/07/2016	17.00.00	119,307	124	126,362	81,578	501	70	812,859	1,401	333,19	6,8	8,1	5641
23/07/2016	18.00.00	119,307	124	126,386	81,578	502	76	813,337	1,521	333,19	6,7	7,1	5641
23/07/2016	19.00.00	119,307	124	126,386	81,578	502	76	813,337	1,521	333,19	6,7	7,1	5641
23/07/2016	20.00.00	119,307	124	126,362	82,597	507	72	815,966	1,441	333,19	6,9	7,4	5641
23/07/2016	21.00.00	119,307	124	126,362	82,597	507	72	815,966	1,441	333,19	6,9	7,4	5641
23/07/2016	22.00.00	120,327	124	126,386	81,578	506	75	815,727	1,501	333,19	6,4	8,5	5641
23/07/2016	23.00.00	120,327	124	126,386	81,578	506	75	815,727	1,501	333,19	6,4	8,5	5641

Date	Time	Boiler Feed Water			Product Steam				Blowdown		Coal		
		P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
24/07/2016	00.00.00	123,386	108	110,373	82,597	502	51	813,098	1,021	333,19	6	6,4	5033
24/07/2016	01.00.00	123,386	108	110,373	82,597	502	51	813,098	1,021	333,19	6	6,4	5033
24/07/2016	02.00.00	123,386	107	109,369	81,578	498	45	810,947	0,901	333,19	6,5	7,3	5033
24/07/2016	03.00.00	123,386	107	109,369	81,578	498	45	810,947	0,901	333,19	6,5	7,3	5033
24/07/2016	04.00.00	126,445	108	109,369	81,578	515	50	820,986	1,001	333,19	6,8	7,3	5033
24/07/2016	05.00.00	126,445	108	109,369	81,578	515	50	820,986	1,001	333,19	6,8	7,3	5033
24/07/2016	06.00.00	126,445	107	109,297	81,578	500	45	812,142	0,901	333,19	6,5	6,6	5033
24/07/2016	07.00.00	126,445	107	109,369	81,578	500	45	812,142	0,901	333,19	6,5	6,6	5033
24/07/2016	08.00.00	125,426	107	109,369	82,597	522	50	824,810	1,001	333,19	6,5	7,3	5033
24/07/2016	09.00.00	125,426	107	109,369	82,597	522	50	824,810	1,001	333,19	6,5	7,3	5033
24/07/2016	10.00.00	121,347	107	109,297	81,578	502	50	813,337	1,001	333,19	5,8	6,5	5033
24/07/2016	11.00.00	121,347	107	109,297	81,578	502	50	813,337	1,001	333,19	5,8	6,5	5033
24/07/2016	12.00.00	122,366	107	109,297	83,617	519	48	822,898	0,961	333,19	6	7,5	5033
24/07/2016	13.00.00	122,366	107	109,297	83,617	519	48	822,898	0,961	333,19	6	7,5	5033
24/07/2016	14.00.00	125,426	107	109,345	80,558	501	46	813,098	0,921	333,19	6,2	6,6	5033
24/07/2016	15.00.00	125,426	107	109,345	80,558	501	46	813,098	0,921	333,19	6,2	6,6	5033
24/07/2016	16.00.00	123,386	107	114,340	80,558	501	48	813,098	0,961	333,19	5,7	7,1	5033
24/07/2016	17.00.00	123,386	107	114,340	80,558	501	48	813,098	0,961	333,19	5,7	7,1	5033
24/07/2016	18.00.00	124,406	107	118,427	86,676	501	48	811,425	0,961	333,19	5,8	8	5033
24/07/2016	19.00.00	124,406	107	118,427	86,676	501	48	811,425	0,961	333,19	5,8	8	5033
24/07/2016	20.00.00	122,366	112	114,340	83,617	509	50	816,923	1,001	333,19	5,8	7,4	5033
24/07/2016	21.00.00	122,366	112	114,340	83,617	509	50	816,923	1,001	333,19	5,8	7,4	5033
24/07/2016	22.00.00	126,445	116	118,427	81,578	499	48	811,664	0,961	333,19	5,7	8	5033
24/07/2016	23.00.00	126,445	116	118,427	81,578	499	48	811,664	0,961	333,19	5,7	8	5033

[illegible]

[illegible]



Date	Time	Boiler Feed Water			Product Steam				Blowdown		Coal		
		P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
28/07/2016	00.00.00	135,623	40	42,830	86,676	509	54	820,508	1,080678	333,19	8,1	8,4	5033
28/07/2016	01.00.00	135,623	40	42,830	83,617	513	52	803,299	1,040653	333,19	8,1	8,4	5033
28/07/2016	02.00.00	130,524	40	42,710	84,637	513	52	803,538	1,040653	333,19	8,3	8,3	5033
28/07/2016	03.00.00	130,524	40	42,710	81,578	515	52	803,299	1,040653	333,19	8,3	8,3	5033
28/07/2016	04.00.00	134,603	40	42,782	83,617	515	50	812,859	1,000628	333,19	8,3	8,7	5033
28/07/2016	05.00.00	134,603	40	42,782	81,578	485	50	813,098	1,000628	333,19	8,3	8,7	5033
28/07/2016	06.00.00	129,504	40	42,854	80,558	485	51	821,703	1,020641	333,19	8,5	7,5	5033
28/07/2016	07.00.00	129,504	40	42,710	81,578	485	51	803,299	1,020641	333,19	8,5	7,5	5033
28/07/2016	08.00.00	132,564	40	42,782	83,617	502	52	812,859	1,040653	333,19	8,2	8	5033
28/07/2016	09.00.00	132,564	40	42,782	82,597	502	52	813,098	1,040653	333,19	8,2	8	5033
28/07/2016	10.00.00	135,623	40	42,854	81,578	516	62	821,703	1,240779	333,19	8,2	8,5	5033
28/07/2016	11.00.00	135,623	40	42,854	85,656	516	62	820,508	1,240779	333,19	8,2	8,5	5033
28/07/2016	12.00.00	135,623	40	42,854	80,558	511	62	819,074	1,240779	333,19	8,4	9	5033
28/07/2016	13.00.00	135,623	40	42,854	82,597	511	62	818,357	1,240779	333,19	8,4	9	5033
28/07/2016	14.00.00	134,603	40	42,854	81,578	503	62	821,942	1,240779	333,19	8	8,7	5033
28/07/2016	15.00.00	134,603	40	42,854	82,597	503	62	821,942	1,240779	333,19	8	8,7	5033
28/07/2016	16.00.00	130,524	40	43,834	82,597	517	72	821,703	1,440904	333,19	8,1	8,9	5033
28/07/2016	17.00.00	130,524	40	43,834	81,578	517	72	821,703	1,440904	333,19	8,1	8,9	5033
28/07/2016	18.00.00	135,623	40	43,858	82,597	517	72	819,313	1,440904	333,19	8,1	9,1	5033
28/07/2016	19.00.00	135,623	40	43,858	82,597	517	72	819,313	1,440904	333,19	8,1	9,1	5033
28/07/2016	20.00.00	135,623	41	43,834	83,617	517	72	821,703	1,440904	333,19	8,1	9	5033
28/07/2016	21.00.00	135,623	41	43,834	83,617	517	72	821,703	1,440904	333,19	8,1	9	5033
28/07/2016	22.00.00	136,642	41	43,858	83,617	513	75	819,313	1,500942	333,19	8,4	8,2	5033
28/07/2016	23.00.00	135,623	41	43,858	83,617	513	75	819,313	1,500942	333,19	8,4	8,2	5033



Date	Time	Boiler Feed Water			Product Steam				Blowdown		Coal		
		P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
29/07/2016	00.00.00	135,623	40	42,830	84,637	525	69	826,244	1,381	333,19	8,1	9,2	5033
29/07/2016	01.00.00	135,623	40	42,830	84,637	525	69	826,244	1,381	333,19	8,1	9,2	5033
29/07/2016	02.00.00	130,524	40	42,710	86,676	526	70	826,244	1,401	333,19	8,3	8,5	5033
29/07/2016	03.00.00	130,524	40	42,710	86,676	526	70	826,244	1,401	333,19	8,3	8,5	5033
29/07/2016	04.00.00	134,603	40	42,782	85,656	522	70	824,093	1,401	333,19	8,3	8,4	5033
29/07/2016	05.00.00	134,603	40	42,782	85,656	522	70	824,093	1,401	333,19	8,3	8,4	5033
29/07/2016	06.00.00	129,504	40	42,854	86,676	526	70	826,244	1,401	333,19	8,5	8,4	5033
29/07/2016	07.00.00	129,504	40	42,710	86,676	526	70	826,244	1,401	333,19	8,5	8,4	5033
29/07/2016	08.00.00	132,564	40	42,782	86,676	517	69	820,986	1,381	333,19	8,2	8,6	5033
29/07/2016	09.00.00	132,564	40	42,782	86,676	517	69	820,986	1,381	333,19	8,2	8,6	5033
29/07/2016	10.00.00	135,623	40	42,854	86,676	517	69	820,986	1,381	333,19	8,2	8,6	5033
29/07/2016	11.00.00	135,623	40	42,854	86,676	517	69	820,986	1,381	333,19	8,2	8,6	5033
29/07/2016	12.00.00	135,623	40	42,854	86,676	517	69	820,986	1,381	333,19	8,4	8,6	5033
29/07/2016	13.00.00	135,623	40	42,854	86,676	517	69	820,986	1,381	333,19	8,4	8,6	5033
29/07/2016	14.00.00	134,603	40	42,854	84,637	518	68	821,942	1,361	333,19	8	8,6	5033
29/07/2016	15.00.00	134,603	40	42,854	84,637	518	68	821,942	1,361	333,19	8	8,6	5033
29/07/2016	16.00.00	130,524	40	43,834	84,637	529	68	828,634	1,361	333,19	8,1	8,7	5033
29/07/2016	17.00.00	130,524	40	43,834	84,637	529	68	828,634	1,361	333,19	8,1	8,7	5033
29/07/2016	18.00.00	135,623	40	43,858	84,637	522	68	824,332	1,361	333,19	8,1	8,3	5033
29/07/2016	19.00.00	135,623	40	43,858	84,637	522	68	824,332	1,361	333,19	8,1	8,3	5033
29/07/2016	20.00.00	135,623	41	43,834	84,637	531	68	829,590	1,361	333,19	8,1	9	5033
29/07/2016	21.00.00	135,623	41	43,834	84,637	531	68	829,590	1,361	333,19	8,1	9	5033
29/07/2016	22.00.00	136,642	41	43,858	84,637	522	69	824,332	1,381	333,19	8,4	8,7	5033
29/07/2016	23.00.00	135,623	41	43,858	84,637	522	69	824,332	1,381	333,19	8,4	8,7	5033

Date	Time	Boiler Feed Water			Product Steam				Blowdown		Coal		
		P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
30/07/2016	00.00.00	134,603	57	59,584	81,578	504	72	814,532	1,441	333,19	8,6	9,4	5033
30/07/2016	01.00.00	134,603	57	59,584	81,578	504	72	814,532	1,441	333,19	8,6	9,4	5033
30/07/2016	02.00.00	129,504	57	59,680	81,578	516	71	821,703	1,421	333,19	8,5	9,3	5033
30/07/2016	03.00.00	129,504	57	59,680	81,578	516	71	821,703	1,421	333,19	8,5	9,3	5033
30/07/2016	04.00.00	129,504	57	59,704	81,578	518	71	822,898	1,421	333,19	8,3	9,4	5033
30/07/2016	05.00.00	129,504	57	59,704	81,578	518	71	822,898	1,421	333,19	8,3	9,4	5033
30/07/2016	06.00.00	134,603	57	59,680	81,578	515	71	820,986	1,421	333,19	8,6	9,5	5033
30/07/2016	07.00.00	134,603	57	59,680	81,578	515	71	820,986	1,421	333,19	8,6	9,5	5033
30/07/2016	08.00.00	135,623	57	59,704	79,538	509	72	818,118	1,441	333,19	8,6	9,2	5033
30/07/2016	09.00.00	135,623	57	59,704	79,538	509	72	818,118	1,441	333,19	8,6	9,2	5033
30/07/2016	10.00.00	134,603	57	59,680	84,637	512	75	818,357	1,501	333,19	8,4	9,5	5033
30/07/2016	11.00.00	134,603	57	59,680	84,637	512	75	818,357	1,501	333,19	8,4	9,5	5033
30/07/2016	12.00.00	130,524	57	59,584	84,637	515	72	820,269	1,441	333,19	7,5	9,1	5033
30/07/2016	13.00.00	130,524	57	59,584	84,637	515	72	820,269	1,441	333,19	7,5	9,1	5033
30/07/2016	14.00.00	129,504	57	59,584	82,597	513	72	819,552	1,441	333,19	7,8	9,1	5033
30/07/2016	15.00.00	129,504	57	59,584	82,597	513	72	819,552	1,441	333,19	7,8	9,1	5033
30/07/2016	16.00.00	130,524	57	59,680	85,656	510	74	816,923	1,481	333,19	8,4	8,3	5033
30/07/2016	17.00.00	130,524	57	59,680	85,656	510	74	816,923	1,481	333,19	8,4	8,3	5033
30/07/2016	18.00.00	130,524	57	59,680	83,617	510	75	817,640	1,501	333,19	8,8	8,3	5033
30/07/2016	19.00.00	130,524	57	59,680	83,617	510	75	817,640	1,501	333,19	8,8	8,3	5033
30/07/2016	20.00.00	134,603	57	59,680	83,617	506	74	815,249	1,481	333,19	8	8,1	5033
30/07/2016	21.00.00	134,603	57	59,680	83,617	506	74	815,249	1,481	333,19	8	8,1	5033
30/07/2016	22.00.00	134,603	57	59,680	85,656	516	73	820,508	1,461	333,19	7,8	8,4	5033
30/07/2016	23.00.00	134,603	57	59,680	85,656	516	73	820,508	1,461	333,19	7,8	8,4	5033

Date	Time	Boiler Feed Water			Product Steam				Blowdown		Coal		
		P	T	h	P	T	F	h	F	h	F1	F2	GCV
		kg/cm2	°C	Kcal/kg	kg/cm2	°C	T/h	Kcal/kg	T/h	Kcal/kg	T/h	T/h	Kcal/kg
31/07/2016	00.00.00	136,642	40	42,854	84,637	524	69	825,527	1,381	333,19	8,6	8,4	5033
31/07/2016	01.00.00	136,642	40	42,854	84,637	524	69	825,527	1,381	333,19	8,6	8,4	5033
31/07/2016	02.00.00	135,623	40	42,734	85,656	526	69	826,483	1,381	333,19	8	8,3	5033
31/07/2016	03.00.00	135,623	40	42,734	85,656	526	69	826,483	1,381	333,19	8	8,3	5033
31/07/2016	04.00.00	136,642	40	43,762	84,637	534	68	831,502	1,361	333,19	8,1	8,7	5033
31/07/2016	05.00.00	136,642	40	43,762	84,637	534	68	831,502	1,361	333,19	8,1	8,7	5033
31/07/2016	06.00.00	130,524	40	48,781	86,676	534	61	831,024	1,221	333,19	7,5	7,5	5033
31/07/2016	07.00.00	130,524	40	42,734	86,676	534	61	831,024	1,221	333,19	7,5	7,5	5033
31/07/2016	08.00.00	132,564	41	43,762	85,656	535	62	831,741	1,241	333,19	7,7	8	5033
31/07/2016	09.00.00	132,564	41	43,762	85,656	535	62	831,741	1,241	333,19	7,7	8	5033
31/07/2016	10.00.00	135,623	46	48,781	81,578	525	75	826,961	1,501	333,19	6,7	8,5	5033
31/07/2016	11.00.00	135,623	46	48,781	81,578	525	75	826,961	1,501	333,19	6,7	8,5	5033
31/07/2016	12.00.00	129,504	53	55,617	81,578	500	71	812,142	1,421	333,19	7,4	9	5033
31/07/2016	13.00.00	129,504	53	55,617	81,578	500	71	812,142	1,421	333,19	7,4	9	5033
31/07/2016	14.00.00	135,623	56	59,704	82,597	494	72	808,318	1,441	333,19	7,9	8,7	5033
31/07/2016	15.00.00	135,623	56	59,704	82,597	494	72	808,318	1,441	333,19	7,9	8,7	5033
31/07/2016	16.00.00	135,623	57	59,704	82,597	505	71	814,771	1,421	333,19	8,1	8,9	5033
31/07/2016	17.00.00	135,623	57	59,704	82,597	505	71	814,771	1,421	333,19	8,1	8,9	5033
31/07/2016	18.00.00	135,623	57	59,704	83,617	510	69	817,640	1,381	333,19	7,8	9,1	5033
31/07/2016	19.00.00	135,623	57	59,704	83,617	510	69	817,640	1,381	333,19	7,8	9,1	5033
31/07/2016	20.00.00	135,623	57	59,704	84,637	518	72	821,942	1,441	333,19	8,1	9	5033
31/07/2016	21.00.00	135,623	57	59,704	84,637	518	72	821,942	1,441	333,19	8,1	9	5033
31/07/2016	22.00.00	135,623	57	59,704	85,656	517	73	821,225	1,461	333,19	7,6	8,2	5033
31/07/2016	23.00.00	135,623	57	59,704	85,656	517	73	821,225	1,461	333,19	7,6	8,2	5033



## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, pada tanggal 05 November 1993. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN 05 Probolinggo, SMPN 2 Probolinggo, dan SMAN 2 Probolinggo. Kemudian penulis melanjutkan studi di Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi ITS –pada tahun 2011. Kemudian penulis melanjutkan lagi program S1 Lintas Jalur di Jurusan Teknik FTI-ITS Surabaya Genap pada tahun 2014.

Dengan ketekunan dan semangat yang tinggi untuk terus belajar dan berusaha, penulis akhirnya berhasil menyelesaikan pengerjaan tugas akhir. Semoga dengan pengerjaan tugas akhir ini mampu memberikan kontribusi positif bagi dunia pendidikan serta pengembangan untuk penelitian selanjutnya. Berikut akan dilampirkan alamat email dan juga nomor tlp dari penulis, bagi pembaca yang akan bertanya bisa langsung menghubungi contact yang ada di bawah.

Email : [windha.tf@gmail.com](mailto:windha.tf@gmail.com)  
Nomor : 081231499027 / 083849390902